

動画学習のセグメンテーション効果を応用したビジュアル
ノベルシステムの開発とシーク操作における認知負荷の分析

2020年 3月

敷根伸光

動画学習のセグメンテーション効果を応用したビジュアル
ノベルシステムの開発とシーク操作における認知負荷の分析

敷根伸光

グローバル教育院

エンパワーメント情報学プログラム

筑波大学

2020年 3月

概要

教育メディアの時間構造は学習中の認知負荷に大きな影響を与える。その中でも動画は学習者の知識レベルに合わせて適した長さにコンテンツを分割することにより効率的に学習することができることが知られており、これはセグメンテーション効果(segmentation effect)と呼ばれる。しかし、学習者の知識レベルを事前に調べることは簡単ではないためセグメントを個々の学習者に合わせて定義することは現実的ではない。一方で動画プレイヤーを活用した学習では学習者が個々の理解や認知的な負荷に応じて早送り、巻き戻し、停止などのシーク操作でセグメントサイズの調節をしていると考えることができる。ただし、多くの動画プレイヤーでは学習者のセグメンテーション効果を考慮しているわけではないため、シーク操作のしやすさは着目されてこなかった。

本研究では学習者が動画コンテンツの途中でシーク操作を行う際の心理メカニズムをセグメンテーション効果と認知負荷理論(Cognitive Load Theory)の観点から考察し、シーク操作の分析を目的とした学習支援ビジュアルノベルシステム NOVELICA と NOVELICA による学習コンテンツ「あかほん！プロトタイプ」を開発した。学習者がアクセス可能なメディアの切れ目のことをスライスと定義し、NOVELICA ではスライスをコンテンツに応じて柔軟に設定できるようにしたことで学習者のシーク操作をしやすくした。

そして本論文では目的のシーンを認知的に見つけやすい動画メディアのスライスの長さや位置を明らかにするため、以下のふたつの仮説を立て実験を行った。

- ・ 仮説 1：動画のスライスを、発話の内容を単位に十分細かく設定することでシーク操作にかかる時間が短くなる。
- ・ 仮説 2：シーク操作時の認知負荷が低くなることで主観的なストレスが軽減される。

高卒以上の男女 30 名に対し、スライス条件の異なる数学の微分積分を学ぶコンテンツを用いたシーン探索課題と印象評価をさせる実験を行ったところ、平均 3 秒程度の発話単位で動画をスライスすることでシーク操作にかかる時間が短縮し、主観的なストレスも軽減できることが明らかになった。また、コンテンツを用いた体験授業実験の結果から NOVELICA による学習では学習者の知識レベルに関わらず低ストレスで学習できる傾向があり、従来のシステムに比べて学習中に適度な覚醒状態を維持できることも示唆された。「あかほん！プロトタイプ」の展示評価および一般公開からは、一連の研究成果と作成した制作事例の社会的な受容性が示唆される結果が得られた。NOVELICA を e-Learning 教材の制作プラットフォームとして社会実装することで人にとってより利用しやすい学習支援システムの構築に貢献することが期待できる。

目次

概要	i
図目次	vi
第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	3
1.3 本論文の構成	3
第2章 e-Learning と学習支援	5
2.1 e-Learning システム	5
2.1.1 学習管理と教材のデータベース化	5
2.1.2 マルチメディア教材	6
2.1.3 ゲーミフィケーションとエデュテインメント	6
2.1.4 リメディアル教育	7
2.1.5 e-Learning システムの課題	8
2.2 動画教材とセグメンテーション効果	8
2.2.1 セグメンテーション効果	8
2.2.2 専門知識反転効果	9
2.2.3 認知負荷理論(CLT)	10
2.2.4 e-Learning における動画プレイヤー	10
2.3 教育エージェントとビジュアルノベル	12
2.3.1 教育エージェント	12
2.3.2 ビジュアルノベルを用いた教材メディアの事例	13

2.4	これまでの筆者の取り組み	14
2.4.1	協調動作をトレーニングする高齢者向けゲームの研究.....	14
2.4.2	教育エージェントとの対話をもとにした数学学習支援ゲーム	17
2.4.3	先行する e-Learning システムの事例および関連研究のまとめ	20
第3章	システムデザイン	22
3.1	システム要件.....	22
3.2	シーク操作時の心理メカニズム	22
3.3	提案システム NOVELICA.....	26
3.4	コンテンツ制作事例.....	30
3.5	あかほん！ プロトタイプ	30
3.5.1	概要	31
3.5.2	コンテンツのターゲットユーザーとねらい	31
3.5.3	基本仕様.....	31
3.5.4	デザイン	32
3.5.5	音楽	33
3.5.6	あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-	33
第4章	予備実験および展示評価.....	34
4.1	コンテンツを用いた体験授業実験	34
4.1.1	実験概要	34
4.1.2	目的	35
4.1.3	実験参加者	35
4.1.4	評価方法	35
4.1.5	実験手順	36
4.1.6	ストレスに関する結果と考察	36
4.1.6.1	POMS のストレス得点	36
4.1.6.2	高ストレス者のプロフィール	37

4.1.7 気分に関する結果と考察	40
4.1.7.1 二次元気分尺度(TDMS-ST)の回答結果	40
4.1.7.2 気分の推移に関する考察	42
4.1.8 コンテンツを用いた体験授業実験のまとめと課題	42
4.2 展示評価	43
第5章 シーク操作分析実験	44
5.1 目的	44
5.2 実験用システム	44
5.3 実験方法	47
5.4 課題と条件	47
5.5 実験参加者	48
5.6 実験手順	48
5.7 実験結果	51
5.7.1 全体の傾向	51
5.7.2 1回目の結果	53
5.7.3 2、3回目の結果	53
5.8 考察	53
5.8.1 回答時間に関する考察	53
5.8.2 主観アンケートに関する考察	54
5.8.3 課題への回答の正誤に関する考察	55
5.8.4 1回目の試行と慣れに関する考察	55
5.9 シーク操作分析実験のまとめ	56
第6章 一般公開と外部評価	58
6.1 社会実装のための一般公開	58
6.2 外部評価	59

6.2.1 NOVELICA コンテンツの受賞.....	59
6.2.2 東京ゲームショウ 2019 への出展	60
6.3 一般公開と外部評価まとめ	60
第 7 章 結論	62
7.1 結論	62
7.2 今後の課題と展望.....	63
研究業績	65
謝辞	67
参考文献	68

図目次

図 1.1	セグメンテーション効果の概念図	2
図 2.1	トランスクリプトが表示される動画プレーヤーの例	12
図 2.2	上肢把持動作計測用コントローラ (システムインスツルメンツ株式会社)	15
図 2.3	上肢把持動作トレーニングシステム概念図	16
図 2.4	6種類のゲームユニット	16
図 2.5	Pedicom システム概念図	19
図 2.6	Pedicom の導入シーン	19
図 2.7	Pedicom のさまざまなシーン	19
図 2.8	学習前後でのコンセプトマップの変化	20
図 3.1	学習者が一時停止を行う点と再開したい点のギャップ	24
図 3.2	学習者が巻き戻し操作をしたときの目的シーンとのギャップ	24
図 3.3	学習者がシーンの言葉を認識できるまでのギャップ	25
図 3.4	ビジュアルノベルの描画手続き	27
図 3.5	ビジュアルノベルの頭出しができない例	28
図 3.6	ビジュアルノベルのブロック化	29
図 3.7	ブロック化により実現するシーク操作	29
図 3.8	あかほん！ プロトタイプ	31
図 3.9	NOVELICA のユーザーインターフェース	32
図 3.10	教師キャラクター スウのデザイン	33
図 4.1	3条件の進行タイプの違い	34
図 4.2	ストレス得点(TMD 得点)	37
図 4.3	グループ①コンテンツ体験前後の気分の推移	40
図 4.4	グループ②コンテンツ体験前後の気分の推移	41
図 4.5	グループ③コンテンツ体験前後の気分の推移	41
図 4.6	“Games, culture and science for boys and girls”の様子	43
図 5.1	問題用紙	50
図 5.2	各条件の平均回答時間を示したグラフ	51
図 5.3	Q1～Q4 の平均スコアを示したグラフ	52
図 6.1	一般公開中の「あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-」(AppStore)	58
図 6.2	ストアでのユーザー評価(AppStore)	59
図 6.3	1+1=2 でいいのか？ (あかほん！ SS)	59
図 6.4	TGS2019 参加の様子	61

図 6.5 複数人でコンテンツを視聴する様子.....	61
-----------------------------	----

第1章 序論

1.1 研究の背景

情報技術の発展やパーソナルコンピュータの普及に伴い、これらを教育に活用する e-Learning と呼ばれる概念が発展してきた。教師のための学習者管理システムというシンプルなものから、近年では膨大なデータベースから学習者が自分自身に合ったコンテンツを選び学習活動を行うアダプティブラーニングという取り組みにまで至っている。メディアを活用した学習の中でも動画は学習者に手順、動作、運動などを視覚的に提示できる利点があることから、様々な教育・自学自習場面で活用されている。動画は単に動きを提示する目的だけにとどまらず魅力的なアニメーションやドラマ仕立ての動画にすることにより学習者の意欲を促す事例もあり、NHK 教育テレビなどに代表される多くの機関で教育番組が制作・放映されている[1]。さらに近年ではインターネット技術の発展に伴い YouTube などのストリーミング動画配信サービスが登場したことで個人でも手軽に動画コンテンツの配信が行えるようになった[2]。そのため、現在では企業や個人が作成した教育動画コンテンツが様々なサービスを通じ配信されている。こういった技術基盤をもとに大学などの教育機関が講義をオープンに公開する Massive Open Online Course (MOOCs) という取り組みも盛んになっている[3]。このように e-Learning の形態も幅が広がり、衛星予備校やオンラインスクールといった講師の実際の授業の代わりに講義動画を見せるという動画学習を中心とした学習塾も多く見られるようになった[4][5][6]。

しかしこういった e-Learning 教材にも様々な問題点が指摘されている。本稿では個人が利用可能なコンピュータ、携帯電話、スマートフォンなどの計算機デバイスをパーソナルコンピュータ(PC)、マルチメディアによって構成されるコンピュータプログラムを中心とした学習システムを e-Learning 教材と定義する。e-Learning 教材はテキスト、音声、画像、動画といった複数のメディアによって構成されるため学習中の認知の特徴もメディア毎に異なる。動画教材の長所は先述した通りであるが、短所としては情報の流れが一方的で集中を欠きやすく[7]、個々の学習者のペースに合わせづらいと言われている[8]。また動画教材は教科書や音声と比較して、講義の場面では対面での授業をそのまま記録できるように思われるものの、学習者の気分や状態に関わらず一定のペースで進行する点や「今言ったことをもう一度言って欲しい」という聞き返しが困難である点が実際の対面授業とは異なっている。このように学習者との対話性が不十分であることがフラストレーションとなり学習内容に関係のない認知負荷に繋がると考えられる。学習における認知負荷理論(Cognitive Load Theory)によると学習中の認知負荷はワーキングメモリを圧迫し学習の妨げになると言われている[9]。

また動画を使った学習ではセグメンテーション効果というものがある[10][11][12]。学習者の知識レベル、すなわち事前知識の量によって一度に視聴できる長さ(セグメント)が異なることが

知られており、例えば数学の二次方程式の授業動画を見ると、一次方程式や数の累乗などの知識が少ないと流れてくる動画からの情報の前後関係を結びつけるのに時間がかかってしまい、動画の進行ペースに追いつけなくなるようなことが起こる。知識そのものが少ないか、あるいは瞬時に知識を呼び出せない習熟度のまだ低い学習者が長時間の授業動画を一度に見ることは、認知負荷が高くなるため難しい。そのため個々の知識レベルに合わせてあらかじめ短い区間(セグメント)に分割した動画で学習すると初学者でも認知負荷が下がり、効率よく学習できるというのがセグメンテーション効果である(図 1.1)。

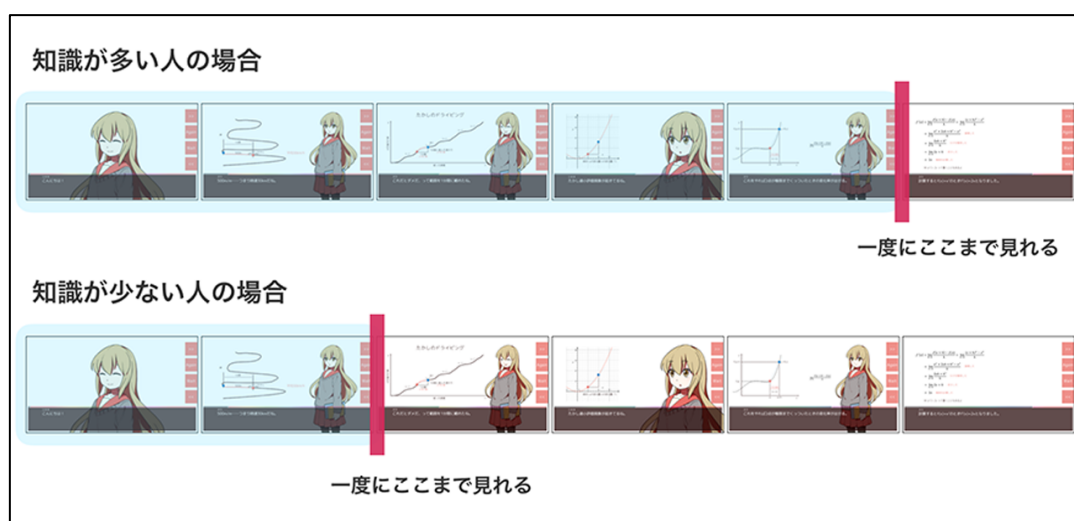


図 1.1 セグメンテーション効果の概念図

それでは、初学者に合わせて予め短く細切れにした動画教材を用いればよいように思われるが、専門知識反転効果(Expertise Reversal Effect)というものも知られており[13][14]、習熟度が上がり知識が増えてきた学習者にとって今度は短く区切られた動画を複数見るということが冗長でストレスに感じると考えられる。このことから事前に個々の学習者の知識量を調査してレベルに合わせたセグメンテーションを行わないと有効なセグメンテーション効果は得られない。しかし、個々の学習者の知識量を動画学習の前に毎回調査するというのも現実的ではない。

現在主流の Udemy などの授業動画配信サービスではチャプターという形で数分程度のセグメントに分割している例が見られる。それよりも短い区間では早送り、巻き戻し、停止といった標準的な動画プレイヤーの機能を用いて学習者は自らの手でセグメンテーションを行なえるものと考えられるが、先述の通り通常の動画プレイヤーでは対話性が不十分であるためセグメンテーション効果はうまく得られていないと考えられる。Hasler らの研究からは「停止」および「再生」ボタンの操作が認知負荷を低減する効果を持つものの、それらはほとんど使われないということがわかる[15]。

以上についてまとめると次のようになる。動画による学習は学習者の知識レベルと動画のペースが合わないため認知負荷が高い。そのため個々の学習者の知識量に合わせて動画を区切ることで認知負荷を下げられるセグメンテーション効果というものが知られているが、学習者の習熟に従って有効なセグメントのサイズも変化していくため予めセグメントを定義するのは難しく、また学習者の知識量を動画視聴時に毎回調査するというのも困難である。既存の e-Learning 教材で学習する際、学習者は個々の理解や認知的な負荷に応じて早送り、巻き戻し、停止の操作でセグメントサイズの調節をしていると考えることができるが、多くの動画プレイヤーでは学習者のセグメンテーション効果を考慮しているわけではないため、シーン探索のための SEEK 操作のしやすさは着目されていない。そこで本論文では以上の問題を解決するために「SEEK 操作のしやすさ」に着目した SEEK 操作分析のための e-Learning システム NOVELICA を提案し、学習者が NOVELICA を利用して学習した際の認知負荷について分析を行った。

1.2 研究の目的

本研究でははじめに学習中の認知負荷を低減するために SEEK 操作時の心理メカニズムをセグメンテーション効果と認知負荷理論(Cognitive Load Theory)の観点から考察し、SEEK 操作の認知的分析のための学習システム(NOVELICA)を提案する。次に学習者が目的のシーンを認知的に見つけやすい動画メディアのスライスの長さや位置を明らかにする。そして NOVELICA を活用した一般ユーザーによる体験評価を行いストレス評価および社会的受容性の調査を行うことを目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文は、本章を含めて全 7 章から構成される。

第 2 章では e-Learning システムとそれらに関連する教育に関する概念をまとめる。はじめに、e-Learning システムとはどういうものなのかについて一般的な知見を紹介する。次に、中でも特に普及が見られる動画教材に関して、認知負荷理論の観点からセグメンテーション効果に関する先行研究について述べる。続けて、学習者との双方向性と情意面の配慮がなされた、教育エージェントに関する先行研究と、その実装に有用なビジュアルノベルシステムに関して述べる。最後に、筆者がこれまでに取り組んだゲームを用いた身体トレーニングおよび学習支援の事例に関して述べ、2 章全体で紹介したそれぞれのシステムや研究を対比させながらまとめる。

第 3 章では提案システム NOVELICA のシステムデザインについて述べる。はじめに、本研究の調査ために必要なシステム要件として、動画コンテンツを作成できること、SEEK 操作が可能なこと、スライスの長さを自由に設計できることの 3 つを挙げる。次に、SEEK 操作時の心理メカニズムについての考察を行い、本研究の仮説を導出する。以上を踏まえて、スライスの長さをより自由に微調整可能なビジュアルノベルシステムを採用し、拡張させた提案システム

NOVELICA の概要とコンテンツ制作事例「あかほん！ プロトタイプ」について述べる。

第4章では、第3章で提案したシステムの有用性を試すための、予備実験および展示評価について述べる。まず、コンテンツを用いた体験授業実験として「あかほん！プロトタイプ A-微分・積分編-」を通常のビジュアルノベル、NOVELICA、動画の3つのパターンで用意し、数学に少しでも苦手意識がある日本の高校を卒業した男女21名の実験参加者にコンテンツを視聴させ、学習中のストレスや学習前後の気分の変化を計測する質問に回答させた実験と結果、考察について述べる。次に、ノルウェーで実施された科学技術とゲームに関するワークショップ(“Games, culture and science for boys and girls”)の様子とそこから得られた改善点について述べる。

第5章ではシーク操作の分析実験について述べる。NOVELICA のコンテンツ「あかほん！プロトタイプ A-微分・積分編-」を(A)セリフ単位、(B)複数セリフからなる会話単位、(C)通常の動画と同じように 30fps、の3条件でスライスしコンテンツを視聴した後に、○○(数学用語)と教師キャラクターが発言している場面を探して、そのときのキャラクターの表情を答えるという課題を実験参加者に行わせた実験と結果、考察について述べる。

第6章では「あかほん！プロトタイプ A-微分・積分編-」一般公開と外部評価について述べる。一般公開の概要、「Unity&宴ノベルゲーム開発入門」出版記念オンラインゲームジャムでの受賞、東京ゲームショウ 2019 への出展について述べる。

最後に、第7章で本論文の結論と今後の課題および展望について議論する。

第2章 e-Learning と学習支援

本章では、提案システムの説明に先立ち、先行して開発された e-Learning システムの事例と関連する研究から明らかになっている知見を整理する。その中で e-Learning による学習支援の抱える課題ならびに本研究で明らかにすべき点について述べる。

2.1 e-Learning システム

2.1.1 学習管理と教材のデータベース化

コンピュータが教育機関に導入されるようになってから多くの現場で利用されているのが学習の管理システム (Learning Management System 略称 LMS) である。LMS は学習者の進捗状況や課題への回答などを管理することができるため、学習者自身の学習活動をはじめ指導やカリキュラム管理を行う教師の教育活動を支援する。2000 年代頃からブロードバンドインターネットが普及し、WEB を通じて学習者を教育機関毎にデータベースで管理できるようになった。教師は学習者の進捗状況 (学習時間、学習範囲、学習内容) をリアルタイムに把握することができ、個々の学習者に合った授業を効果的に行うことが可能である[16]。

学習管理機能のみを使い、授業は教師による対面の講義を行うという運用も考えられるが、多くの LMS にはマルチメディア教材を個々の学習者に配信する機能も備わっている。Moodle[17] は世界的に多くの利用者を持つオープンソースの e-Learning プラットフォームで、学習者、学習コース、教材の管理をひとつのシステムで行えるように設計されている。これによって教師がコースと教材を整備すれば学習者はオンライン上で学習を完結させることができるようになっている。Moodle 以外にもこういったオールインワンタイプの LMS は教育機関向け広く普及しており、このようなシステムではテキスト、画像、動画などのマルチメディア教材を大量に用意してデータベースに格納することができるので、学習者は時間や場所を選ばずに教材データベースから個々の興味や習熟度にあった教材を選択することができる。

LMS を活用した学習では学習者が単に自習をするのとは異なり、教師が学習者の学習状況を把握しながらコースの更新を容易に行うことができるのが特徴である。教師と学習者が時間や場所を合わせる必要がなく、一度教材が整備できたら対面式授業とは比較にならない程多くの学習者に対して同時に授業を行うことが可能なので大学のみでなく企業の研修などで導入される例が見られる。

LMS のような e-Learning システムを普及は進んでいるものの、多くの大学ではまだ教員の受け入れ体制が整っておらず、システム利用のトレーニングを必要としているという報告もある。

2.1.2 マルチメディア教材

e-Learning システムの活用において PC がマルチメディア教材の再生機になるという利点が大きな役割を果たしている。例えば動画教材を例に取れば、PC の普及以前では視聴覚室や教室内プロジェクターの利用といった形で動画を専用に再生する設備が必要であったが、PC は汎用マルチメディアプレイヤーとしての機能を持つため、テキスト教材の途中で画像、音声、動画を挿入し再生させることが可能になった。また、単にメディアの再生をするだけに止まらず、回答式の設定を含めるなど、対話性のある教材アプリケーションも作成可能である。

かつては CD-ROM などにコンテンツが収められていてそれらを PC 上で再生して学習していたが、前節でも述べた通り WEB 技術の発展によりインターネットを通じてマルチメディア教材を利用できるようになった。それまでは個々の端末(PC)で教材を管理する必要があったが、単一のサーバーから教材を配信する仕組みになったため、教師や教材作成者は更新や管理が容易に行えるようになった。さらに LMS と組み合わせることで、膨大な教材データベースから学習者の習熟度に合った教材を推薦するといったことも可能になった。近年ではスマートフォンやタブレットといった通信機能を持った高性能なモバイル PC 機器を誰もが持っているため、授業動画のストリーミング配信のようにマルチメディア教材の形態も時代に合わせて進歩してきている。こういった技術背景をもとにオンラインの授業コースを履修することで実際に大学の単位が取得できる MOOCs のような取り組みも普及している。

Won らはオンライン学習者のモバイル機器に対する受容性と学習成果への影響を調査した[18]。構造方程式モデリングを用いた分析の結果、オンラインコースの大学生達はモバイル機器向けの技術を学習のツールとして受け入れ始めており、こういった新しい技術を学習に取り入れるということが直接的あるいは間接的に学習成果に良い影響を与えることが示唆されている。現在では単にマルチメディアを利用するだけに止まらず、教育のシステム自体をテクノロジーを利用して発展させていく EdTech と呼ばれる潮流も生まれている。

2.1.3 ゲーミフィケーションとエデュテインメント

マルチメディア教材の発展形としてゲーミフィケーション(Gamification)やエデュテインメント(Edutainment)という概念も重要である。コンピュータの普及に伴い、コンピュータゲームやCGといったエンタテインメントも大衆に浸透した。e-Learning システムにこれらの魅力的な仕組みを取り入れることによって学習者の動機付けを促す研究がされてきた[19][20]。ゲーミフィケーションはコンピュータゲームにおけるゲームデザインを教育に取り入れることによって学習者がゲームのキャラクターを成長させるのと同じような感覚で学習を進めていけるようになる取り組みである。例えば多くのコンピュータゲームではプレイヤーが操作するキャラクターにレベルというものが設定されており、ゲーム中で課題を達成することによって経験値が溜まり、レベルが上がり、キャラクターがグレードアップする。ここで重要なのは、この一連の流れが全て可視化されている点である。ゲームはプレイヤーがはじめは初心者であることを想定し

てデザインされており、レベル1の課題は簡単なものが設定されている。レベルが上がっていくほどに課題の難易度も段階的に上がっていき、プレイヤーにとって最適な水準の課題が与えられることで常に飽きることなく意欲を保ってゲームに打ち込めるようになっている。このように、目的や結果の可視化と習熟度に合わせた課題の最適水準性を維持する設計は学習意欲を維持するのに重要な要素であるため教育におけるゲーミフィケーションの研究は多くされている。

Meletioun-Mavrotheris は就学前の子供たちに数学を教えるためにコンピュータゲームを活用した研究を行なっている[21]。数学という、重要ではあるが子供たちにとって取り組むまでの心理障壁が高い科目でもゲーミフィケーションが有効であることを示している。

エデュテインメントは Education と Entertainment からなる言葉であり、文字通り教育とエンタテインメントを融合させたコンテンツのことを言う。映画や音楽、小説、アトラクションなどの様々なエンタテインメントコンテンツを媒体にした教材のことなので、ゲーミフィケーションされた教材もエデュテインメントの1つだと言うことができる。セサミストリート (SESAME STREET) は世界的に有名なエデュテインメントの一例で、様々なキャラクターが登場する子供向けドラマでもありながら就学前教育を目的としたコーナーがあるテレビ番組である[22]。

近年では公教育で採用される教科書にもイラストやキャラクターの対話形式などエデュテインメントの要素が散見される。またタブレットを利用した教材アプリケーションではゲーミフィケーションの要素を見ることができる。いずれも、学習に対して苦手意識がある学習者に対して心理障壁を取り除く効果や、動機付けを促す効果があると考えられているため低年齢層向けや初学者向けの教材で活用されている例が多い。

2.1.4 リメディアル教育

e-Learning システムの、時間や場所を選ばず教師との予定を合わせる必要がなく、学習者の習熟度にあった教材で学習できるという特徴を活かして、これらを対面授業のフォローアップとして用いる例が多く見られる。対面式の斉授業では学習者の個々の知識レベルやその時々の方分の状態によって授業のペースについていけない者も現れてしまう。あるカリキュラムの中でそういったことが積み重なると、テストで合格点を取れずに落第してしまう。そういった何らかの理由で通常の授業ペースについていけずに補習が必要になった学習者に対して、時には初歩的な項目から遡って学習者に不足している基礎学力を補うために行われるのがリメディアル教育である。高等学校や大学では学習単元がより複雑になり、新しい単元の学習にはそれまでの単元の理解が必須になることが多いため、リメディアル教育は重視されている。特に大学は様々な知識レベルの高等学校から学生が集まっているため、事前知識の水準にかなりのばらつきがあるとされており、e-Learning システムを活用した大学におけるリメディアル教育に関する研究が多くされている。

小松川らは日本の大学において理工系の学生を対象にして LMS を利用した実証研究を行った[23][24][25]。この研究では大学の学部一年生を対象にした数学のリメディアル教育に LMS を活用している。大学でのリメディアル教育において大学教員が高校のカリキュラムを把握してい

ないという問題点を指摘し、高校と連携することでカリキュラムをデータベース化し LMS に組み込んでいる。高校と大学の接続では担当教員をその都度遠方から呼び寄せるようなことは現実的でないが、e-Learning を利用することで時間と距離の問題を解消している運用例であると言える。

2.1.5 e-Learning システムの課題

これまで2.1節を通して e-Learning システムに関する基本的な知識を整理してきた。e-Learning システムには様々な利点があり、情報技術の普及とともに様々な現場で活用されている。しかしそんな e-Learning システムの活用にも未だ多くの課題がある[7]。ここでは代表的なものをふたつ紹介する。

ひとつは運用や準備が難しいという点で、教員や学習者はシステムの使い方を覚えなければいけないことが負担になる。また、マルチメディア教材は作成コストが高く、専門のスキルを持っていないと作成や修正が難しい場合がある。(2.1.2 節で述べた利点は一度教材が用意できれば更新や管理が容易であるということで、教材作成自体の負担は考慮していない。)

もうひとつは継続意欲の維持が難しい、対話性に乏しく集中を維持できない、質問ができないといった教師との対面式授業ではないことによる学習のしづらさの問題である。e-Learning システムの活用が進んだ結果、教師による対面式授業が単なる学習内容の情報伝達というわけではなく、学習効果に影響する様々な因子を持つことが浮き彫りになった。例えばゲーミフィケーションやエデュテインメントは学習内容以外にも様々な要素を持っており学習意欲を促すことは先に述べたとおりである。学習に対する意欲、不安感、あるいはストレスといったものは認知負荷という形で学習効率に影響を与える。

特に動画教材は一方的に情報を受け取ることになりがちで双方向性の無さから集中を欠きやすいと指摘されている。中村らは動画教材に双方向性を持たせるため、学習者の生理情報に合わせて動画の再生スピードを変化させるシステム Ghost-Tutor を開発した[8]。これにより、教師が学習者の様子を見て授業のスピードをリアルタイムに調整するということが再現できている。学習者の意欲、不安感、ストレス、体調、覚醒度というのは学習の中でも逐一変化するためこれらをうまくマネジメントすることで学習効率を向上させることができると考えられている。

また、このふたつ以外にも、システムの通信状態が悪いときがある、金銭的成本が高いなどの問題点は指摘されることが多い。

2.2 動画教材とセグメンテーション効果

2.2.1 セグメンテーション効果

e-Learning システムのマルチメディア教材として動画が用いられることが近年では一般的に

なっている。動画は情報量が多く、対面式の授業を高い再現度で記録することができる。これにより手順、動作、運動などを視覚的に提示できるという利点は先にも述べた。動画学習では多くの視覚情報と音声情報が流れるように学習者に提示される。学習者にとって、それらの情報を逐次脳が処理してそれまでのシーンと連結させながら授業内容を理解していくことは認知的負荷が高いと言われている[26][27]。予習などにより事前に知識がある学習者であれば授業ペースについていくことができると考えられるが、事前知識が少ない学習者は短時間でワーキングメモリを圧迫してしまい、授業のペースについていけなくなると言われている。これに対して、動画をいくつかの短いセグメントに分けて視聴させることによって、事前知識の少ない学習者でも理解を追いつかせながら学習できるということが知られており、セグメンテーション効果(Segmentation Effect)と呼ばれている。

Mayer らは子供達に対する理科の解説アニメーションにおいてスライスおよびペースをコントロールできるようにしたグループとそうでないグループを比較して、セグメンテーションが学習効率を向上させることを示した[10][11][12]。

Boucheix らは長区間、短区間のアニメーションと静止画をそれぞれ提示させて子供達に紐の結び方を教える実験を行なった。その結果、このような動きを学ぶ教材では認知負荷を考慮した上でも動画教材が静止画よりも効果的であることを示した。また、静止画であっても長区間のほうが短区間の条件に比べてパフォーマンスが悪かったことから、静止画の組み合わせにおいてもセグメンテーション効果が有効であることを述べており、同じ長区間のセクションで比較してみると、アニメーションの場合の方が動きに関する情報を整理しやすく、この条件下では認知負荷を低くすることが可能であったと考察している[26]。

Lee らは学習者の事前知識をコンセプトマッピングと Vee ダイアグラムを用いることで測定し、事前知識の量に応じたセグメンテーションを行うことで特に事前知識の少ない学習者の学習効率が向上することを明らかにした。事前知識の少ない学習者ほど、短区間でのセグメンテーションが望ましいことも述べている[27][28]。

2.2.2 専門知識反転効果

学習者の事前知識量にセグメントサイズを合わせなければならない根拠として、専門知識反転効果(Expertise Reversal Effect)が知られている。Kalyuga らによれば、初学者にとって易しい教材があるとき、その効果が学習者の知識が増えていくに従って薄れ、最終的にはむしろ非効率的な学習に逆転する現象がある。それが専門知識反転効果と呼ばれている[13][14]。

初学者向けの教材では豊富な資料や説明が用いられるが、ある程度専門知識を獲得した学習者に同様の方針で教授を行う場合、その多くは既に持っている知識と重複しているため、知識との照合に不必要な認知負荷がかかる。また、初学者向けの教材では心理障壁を減らすためにゲーミフィケーションやエデュテインメントの要素が取り入れられているものが多く、習熟した学習者にとってはこれらが冗長に感じられることもあり得る。このような初学者向け教材の冗長性がストレスに繋がり、学習中のワーキングメモリを圧迫することになると言われている。

Dankbaar らの事例では医学生に対するゲーミフィケーションの要素を含んだ e-Learning シミュレーションシステムによる学習で専門知識反転効果が見られたことが報告されているほか、他にも同様の現象と考えられる事例が報告されている[29][30][31]。2.2.1 で述べた Lee らの実験においても、事前知識の多い学習者において不適切な短いセグメンテーションが専門知識反転効果を引き起こしている[27]。これは、十分に長区間のセグメントを視聴可能な学習者からすれば短く区切られたセグメントをその都度いくつも見なければいけないということであり、ストレスに繋がったのだと考えられる。これらのことから最適なセグメントサイズを事前に定義するのは難しく、学習者に合わせて動的にセグメンテーションを行うのが望ましい。

2.2.3 認知負荷理論(CLT)

授業や教材における冗長性やストレスに関しては認知負荷理論(Cognitive Load Theory)が知られている[32][33][34][35]。学習者の脳のワーキングメモリは限られていることから、認知負荷が許容量を超えることで効率的な学習が阻害される。学習中の認知負荷の原因として、授業内容や課題そのものに由来する認知負荷と、それ以外のものに由来する認知負荷が知られている。後者はマルチメディア教材を例にとれば教材そのものの持つ複雑さや冗長性によって引き起こされる負荷で、操作のしにくさや検索のしにくさ、認識性の悪さなどが影響すると考えられる。認知負荷理論では、授業内容や課題そのものに由来する減らすことができない認知負荷に対して、それ以外の認知負荷を減らすことによって課題に取り組むためのワーキングメモリを確保することが効率的な学習に繋がるとしている[9][36][37]。

2.2.1 と 2.2.2 で述べた従来研究も根本的には認知負荷理論から説明することができる。セグメンテーション効果はワーキングメモリに常に余裕を持たせる意味をもっており、専門知識反転効果は学習者の知識が増えていくに従って、学習内容の重複や授業の冗長さによる認知負荷が増加することを示唆している。

これらの認知負荷に関する研究から、初学者に対しては教材のセグメントを短く切り、知識の増加に合わせてセグメント長を長くしていくことで認知負荷を抑えた状態での動画学習を行えるということがわかる。しかし、学習者の事前知識を計測するためのコンセプトマッピングなどの手法は大変手間がかかるため、日頃から学習者の知識を計測した上でセグメントを定義するようなことは現実的ではない。

2.2.4 e-Learning における動画プレイヤー

動画教材は近年では様々なシステムやプラットフォーム上で利用されている。YouTube[2]は世界最大の動画共有サイトで企業や個人が多く動画を投稿している。大学や予備校、企業なども YouTube を介して学習や製品に関するレクチャー動画を公開している現状がある。このような動画サイトの利用は 2020 年現在では非常に一般的になっており、教育メディア、解説メディアとしての動画の社会浸透が確認できる。

また、Udemy[5]や Coursera[6]のように学習に特化した動画サービスも人気を集めている。これらのサービスでは動画の一部にブックマークやコメントを残したりすることによってチェックポイントを保存できる仕組みがある。すなわち、動画教材が内容に即した意味的なまとまりとして利用者の手によってセグメンテーションされている事例といえる。

Hasler らの研究では”Stop”と”Play”が利用できる条件のグループと事前定義されたセグメントに分けられた上で一時停止ができないグループを比較した場合、前者の方がパフォーマンスが良かったと報告している。しかし、”Stop”と”Play”ボタンは実際にはそれほど多く使用されておらず、事前定義のセグメンテーションと一時停止ボタンの併用を推奨している[15]。

このように、ユーザーが学習動画の視聴中に自分のその時々気分や意欲に従って動的にセグメンテーションを行うことで、自分のペースで学習することができると考えられる。現在一般的に利用可能な様々な動画プレイヤーではシークバーを利用した頭出し、ボタンによる 5 秒送り、5 秒戻し、一時停止といった操作が基本機能として利用できるので、学習者は一時停止や巻き戻しを挟むことによって一度に視聴するセグメント長を調整していると考えられる。また、Udemy、Coursera、TED.com[38]のような動画プレイヤーでは講義内容のトランスクリプトを表示する機能があり、任意の発言部分を選択するとそのシーンに頭出しでジャンプすることができるようになっていて(図 2.1)。

ただし、このような動画プレイヤーの機能がセグメンテーション効果を考慮したものだとはいえづらい。学習中にセグメンテーション効果を得るメリットは認知負荷を低減することにあるが、セグメンテーションを行う行為自体の認知負荷が高ければ意味がないからである。例えば、授業ペースについていけなかったから巻き戻すという場面で、5 秒戻し操作をしたとしても目的のシーンに戻れるとは限らない。5 秒戻したシーンが目的のシーンかどうか判断し、さらに操作を重ねることになるだろう。この操作に困惑し、時間がかかるとそれ自体がフラストレーションとなり、認知負荷になる。トランスクリプトを利用した頭出しも、講義の内容全体を把握していれば目的のシーンを簡単に見つけることができるが、まず目的の発言内容を探さなければならない。動画内容と連動してトランスクリプトにハイライトが表示されてわかりやすくなっている例も見られるものの、動画とトランスクリプトを同時に見ることはできないため根本的な解決には至っていないと思われる。

動画の中のシーンを探索する際「〇〇と発言していた△△秒前に移動したい」と具体的に考えることは稀で、普通は「少し前に戻りたい」「全体のこの辺りに移動したい」のように抽象的に考えているはずである。本論文ではこの、具体的な移動先を把握していない状態で目的のシーン探索をする操作のことをシーク操作と定義する。

先述した一般的な動画プレイヤーの例では、5 秒送り、5 秒戻しのボタンおよびシークバーがシーク操作に使われるが、いずれも発言内容の意味の単位ではなく時間の単位で区切られているため、発言の先頭に移動できるとは限らないのである。もし、トランスクリプトの区切りで発言ごとに移動できるボタンがあれば通常のボタンを使用した時よりも少ないストレスでシーク操作が行えるかもしれないが、その検証はされていない。また、データ容量が大きい読み込

みが瞬時に行えず、スムーズにシーク操作が行えないという動画というメディア特有の問題もある。

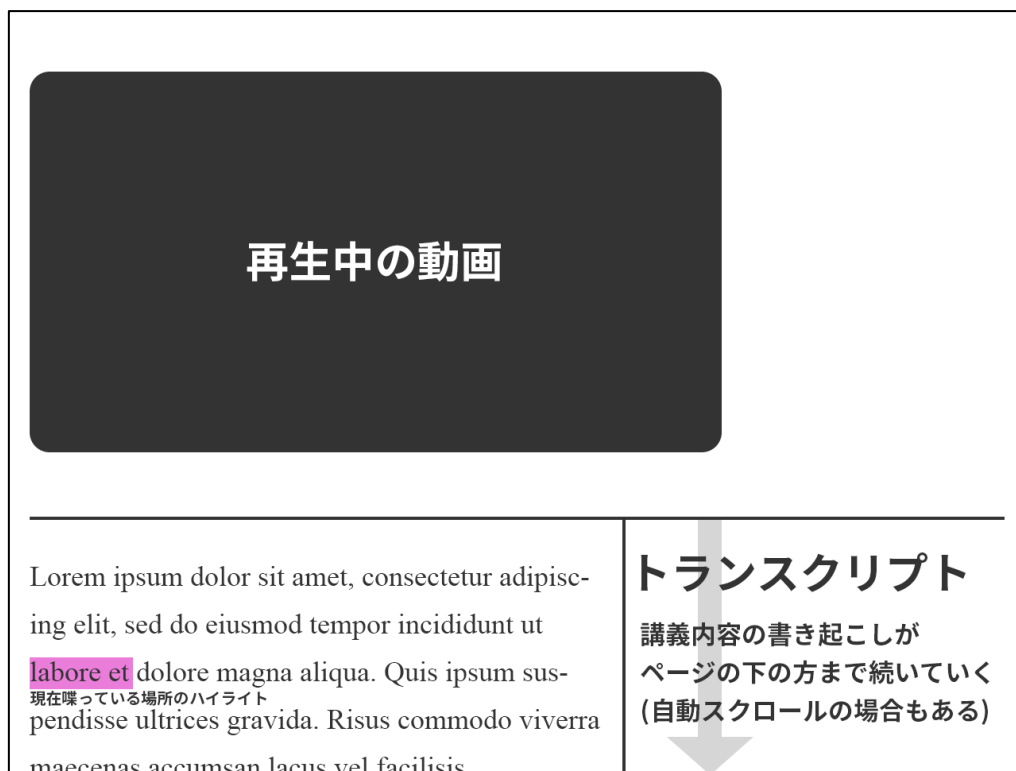


図 2.1 トランスクリプトが表示される動画プレーヤーの例

2.3 教育エージェントとビジュアルノベル

2.3.1 教育エージェント

教育エージェント(Pedagogical Agent)は e-Learning システムのアプリケーション内に教師役、あるいはアドバイザー役として設定されるエージェントキャラクターである。キャラクターがガイドのようにシステムを案内したり、学習者に授業を行ったりする。Johnson らはアニメーション化された教育エージェントのうなずきや仕草が学習者の心理に良いフィードバックを与える述べている[39]。3D モデリングをしたキャラクターを用いる例や 2D のイラストを用いた例もある。また、これらのキャラクターを自律制御させた教育ドラマ(Pedagogical Drama)の開発も行われている[40][41]。Lester ら[42]はインタラクティブ性を取り入れた教育エージェントを利用し、中学生の学習を励まして学習意欲を継続させた。Shen[43]は授業での問題の解消を補助する教育エージェントを利用し、高校生の学習意欲と数学不安の解消をさせた。Atkinson[44]は教

育エージェントにアニメーションと音声による説明をさせることによってテキストのみのグループよりも高い学習効果が得られたことを明らかにした。

教育エージェントは教師役のキャラクターや動物のようなマスコットキャラクターを用いる事例が見られるが、いずれも学習者の興味を引き、不安を和らげる効果があるとされている。動画を中心としたシステムのように情報の流れが一方的なものを我々は無機質だと感じてしまうが、システムのユーザインタフェースとして教育エージェントが設定されることによってあたかもシステムと対話をしているように感じることができる。

2.1.3でゲーミフィケーションの一例として紹介した Meletiou-Mavrotheris らのシステム[21]は未就学児向けの教育エージェントの活用例としての側面もあり、子供向けアニメのように様々なキャラクターが登場して子供たちの興味を引きつつゲームの仕組みの中で教育を行っている。

2.3.2 ビジュアルノベルを用いた教材メディアの事例

ビジュアルノベル(Visual Novel)というのは文章、画像、音声が表示される複合メディアで、コンピュータゲームの 1 ジャンルとして世界中で発展してきた。ビジュアルノベルでは話者のキャラクター画像を表示して発話音声を再生し、その字幕テキスト表示するといった形で会話シーンの描画ができるため、教育エージェントシステムの UI として同様の形式が用いられることが多く見られる。そして、コンテンツによっては動画やアニメーションよりも作成が簡単で、かつ文書に比べて画像や音声を効果的に利用できる利点があるためゲームに留まらず様々な用途にも用いられている。我が国の国民生活センターでは若者に向けて悪質商法の手口を説明するためにビジュアルノベルを用いたコンテンツを活用しているといった事例も見られる[45]。ビジュアルノベルを用いれば教育エージェントを活用した授業コンテンツの作成も可能であるし、コンテンツに占める文章、画像、音声の比重も自由に設計できるため、非常に自由度の高いコンテンツ作成が可能である。2.3.1 節で述べたいくつかの教育エージェントシステムもビジュアルノベルシステムの一形態であると言える。

ただし、ビジュアルノベルを教材に用いるにあたっての欠点もある。通常のビジュアルノベルではユーザーが逐クリック操作を行うことでコンテンツを進行させる仕組みになっているが、音声の再生スピードとテキストを読む速度が一致しないことから、制作者が意図した通りのタイミングやペースで視聴させることが難しい。それによって発話の韻律情報が乱れてしまうことがあり、内容の正確な理解を妨げる。人が音声を聞き取るとき、接続関係と呼ばれる談話の構成要素同士のつながりの理解が必要不可欠である。そして、音声のポーズ時間長、発話速度、ピッチなどの韻律情報は接続関係の強さと相関を持つことが知られている[46][47][48]。例えば、ポーズ時間長が 200msec 以下の場合、弁別能力が急激に低くなる[49]。発話者の意図的なポーズや意図せぬ沈黙などの間は、聴衆に与える印象や内容理解の容易さに影響するという研究もある[50]。

学習塾や予備校の有名講師らはこういった談話の中で発話の仕方、緩急の付け方が上手いと考えられており、重要なポイントで着目させたり覚えやすいフレーズによってリズムカルに訴

えかけたりしている。ビジュアルノベルの双方向性があるという利点と、制作者の意図した通りのタイミングで視聴させることが難しいというのは表裏一体で、システムの持つ時間構造によるものである。

2.4 これまでの筆者の取り組み

筆者はこれまでにゲーミフィケーションやエデュテインメントの要素を活用した高齢者向けのトレーニングシステムの開発や教育エージェントとの対話をもとにした学習支援システムの研究を行ってきたのでここで紹介する。

2.4.1 協調動作をトレーニングする高齢者向けゲームの研究

この研究では、日常生活において重要であり、加齢とともに衰えると言われている五指と上肢の協調的な運動を上肢把持動作と定義し、それらの動きを認識するためのコントローラとゲームコンテンツによりトレーニングの支援を行うゲームシステムを提案した。

日常生活においては、モノを持つ、ドアを開ける、高いところにあるモノをとる、料理をする、自動車の運転をするなど、様々な活動の過程で視覚情報に基づき五指と上肢の協調的な運動を行っている。しかし、これら協調的な運動をするための機能は加齢とともに低下することが知られており、顔を洗う、歯を磨く、食事をするといった行動にも支障をきたす[51]。そのため、高齢者において五指と上肢の協調的な運動を行うための機能をトレーニングしていく必要があり、特に高齢化が進む日本や先進国では重要な課題となっている[52]。

高齢者の協調動作をトレーニングするシステムの開発をするために、先行するゲーミフィケーションを活用したトレーニングシステムの調査を行なった。Neuro racer[53]では、レースゲーム中に様々なサインが表示されたタイミングに合わせてボタンを押すなどの複数の動作を同時に行うことで認知機能が向上することが示されている。

身体的、認知的機能の向上を目的として専用開発されたゲームも製品化されるようになってきている。日常生活動作の基礎とされ、脳卒中治療にも用いられる起立運動を行うゲーム、“リハビリウム起立くん”は多くのデイサービスなどの施設で導入されている[54]。(ただし、現在は販売を終了している) テレビに映る自分の姿を確認しながら、起立運動を行うゲームを進めることで、機能訓練を行うことができる。また、自分自身の身体的状態を確認しながら、運動を行うことができる機器として“デジタルミラー”がある[55]。ハーフミラーになっている画面に映される自分の姿と地面に敷いたバランス計を確認しながらインストラクタの動きを真似することにより効果的なリハビリを行うことができる。

筆者らはこれらを参考にし、システム・インストルメンツ株式会社と共同で図 2.2 のようなコントローラを開発した。このコントローラは五指の各指の圧力と上肢の動きを計測することが可能で視覚運動協調(visuomotor coordination)の中でも、特に視覚と五指・上肢の協調的な運動を上肢把持動作(upper-limb-grasp motion)を計測できる。さらにこの上肢把持動作を 6 つの運動

要素に分類し計測を行なった(表 2.1、 図 2.3)。



図 2.2 上肢把持動作計測用コントローラ (システムインストルメンツ株式会社)

表 2.1 上肢把持動作の6つの運動要素

上肢把持動作に含まれる運動要素	
1	五指の圧力バランス(balance of finger pressure)
2	各指の運動能力(finger exercise capacity)
3	上肢運動の滑らかさ(upper-limb exercise smoothness)
4	肩の可動範囲 (shoulder movable scope)
5	上肢と五指の協調 (upper-limb-finger coordination)
6	目と手の協調 (eye-hand coordination)

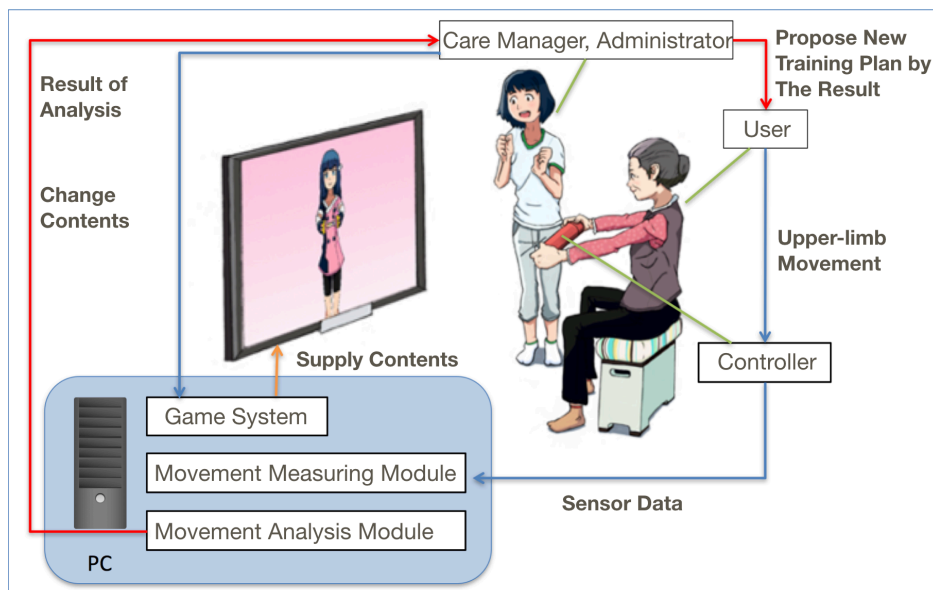


図 2.3 上肢把持動作トレーニングシステム概念図

そして、これらの動作を計測するために6つのゲームユニットをデザインし、開発した。それぞれのゲームユニットは1種類以上の運動要素を含んでおり、ゲームのスコアから上肢把持動作の運動能力を計測することができる(図2.4)。

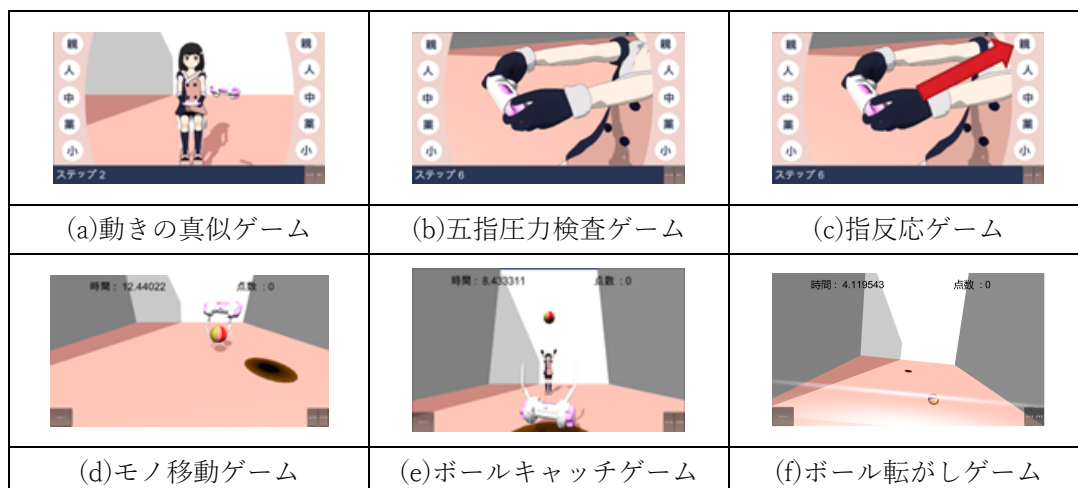


図 2.4 6種類のゲームユニット

ゲームデザインは高齢者向けというのを考慮して孫がケアハウスに遊びにきたという設定にし、インストラクターとなるキャラクターの動きに合わせてその動作を真似するという UI 設計にした。

このシステムを利用し、若年者と高齢者のグループで上肢把持動作の計測実験を行なった。

t 検定による分析において有意差が認められた項目は各指の運動能力 ($p < 0.05$) のみとなった。また、個人間でばらつきはあったが、若年者グループに比べ高齢者グループで計測された値には大きなばらつきが生じていた。このことから高齢者は同じ年代でも運動能力や特性が一人一人異なることがわかった。

実験ではゲームシステムに対する印象評価は行っていないが、高齢層の被験者からは「おもしろい」「継続してやってみたい」「買いたい」などの意見が挙がった。ゲームシステムにエンタテインメント性を付与したことで継続性のあるトレーニングを促すことができると考えられる。

この研究で開発したシステムは製品化向けの改良が施され、システム・インスツルメンツ株式会社から”認知症予防「まゆっこ」データロガー”として販売されている[56]。この製品では視覚運動協調動作という、一般的にトレーニングや計測を行う器具が無いものに対して、独自のハードウェアと PC を接続し、ゲームを通して日々の運動能力を計測し、グラフやチャートとして視覚化することによって、高齢者自身や介護支援専門員が運動特性や他ユーザとの相対位置を視覚的に確認することができる。これによって生活行動に関わる注意力の向上や長期的なトレーニングを計画する際の効率化が期待できる。

この研究は特定の項目を計測するためのシステムを、対象ユーザー向けにデザインし開発したことによって、学術的な検証と製品化による社会還元の実現することができた事例となった。

2.4.2 教育エージェントとの対話をもとにした数学学習支援ゲーム

こちらの研究では数学不安(Math Anxiety)を抱える大学の学部生を対象にし、学習エージェントとの対話を中心に展開する数学学習支援ビジュアルノベルを開発し、学習項目のコンセプトマッピングの向上と数学的知識の項目別の計測を検討した。

Petocz らの調査[57]によれば、多くの理系大学生は数学が生活における思考のための一つの観点となることを認識している。しかし、理工系の大学の数学や物理学の授業では高校までの数学や物理の知識の活用を前提とすることが多く[23]、入学時の学力や知識のばらつき、講義や数学の学習に対する認識の差が問題になることが指摘されている。

大学数学では線形代数の線形空間や解析学の ε - δ 論法のような、抽象度の高い数学的対象を認識し、論理を順序立てて読み解くことではじめて理解ができるような概念が登場する。高校から大学受験までは問題と解法を一对一で覚えるような、解法の暗記によって問題を解くことができた学生でも、大学数学ではそういうわけにはいかないため、大学で初めて数学学習に躓くことがある[58][59][60]。高校までは数学的概念の構造的な理解はあまり重視されてこなかったため、諸概念同士の繋がりを意識できていない学生も多いと言われる。

それに対し、日本の大学ではリメディアル教育の拡充は追いついていないというのが現状である。筆者らは、数学に苦手意識を持っている大学生が数学的概念の構造的な理解を習得し、成績を向上させることを目的として、個々の学習者の理解にあわせた説明をする数学学習支援ゲームシステム Pedicom (Pedagogical Interactive Communicator) を提案し、学習効果や情意面にもたらす効果についても調査を行った。

数学の理解度を調査するための先行研究として、Forrester ら[61]は、子供の数学的な理解方略を調査するためには会話分析が有効であると述べ、授業中の会話分析から子供の理解方略を認識する手法を提案した。Dubinsky ら[62]は、数学の理解を action、process、object、schema の 4 段階に分け学習者の数学的概念の理解度を認識するための指標 (APOS) を提案した。

数学の理解度を測るためのテストとしては、経済協力開発機構による学習到達度調査 (PISA) や国際教育到達度評価学会による国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS) が実施されている[63]。特に、PISA は実生活と結びつくような数学的能力について測っており、日本の学生に関しては情意面で好ましくない傾向にあることが指摘されている[64]。また、国内では 2013 年に日本数学会による大学生数学基本調査が実施された[60]。この調査では、代数・幾何・解析における問題を大学生に対して出題することにより、数学的概念の論理的な理解が不適切である大学生が一定数いることを明らかにしている。

大久保[65]は、数学の習熟度分けに用いられる Placement Test の調査の結果から、不正解要因の多様性について明らかにしている。0 点の被験者グループには「未学習」といった特徴が多く見られ、下位から中位の被験者には「未学習」「未理解」「未定着」が混在していることが示されている。

Pedicom はビジュアルノベルの UI を活用して学習者が自らを投影できる主人公キャラクターとの対話を基本にして進行するゲームである。教育エージェントとしてアニメ調のキャラクターを用い、主人公の同級生として勉強を教えてくれるというストーリー設定のもと、線形代数の固有空間に関する知識を、コンセプトマップを描画しながら教えるという授業コンテンツを制作した(図 2.5 ～2.7)。また、このコンテンツでは学習者への発問の場面がいくつかあり、回答は APOS[62]を参考に理解度別に分けられているため、学習者の回答内容から理解の傾向を導き出すことも検討した。

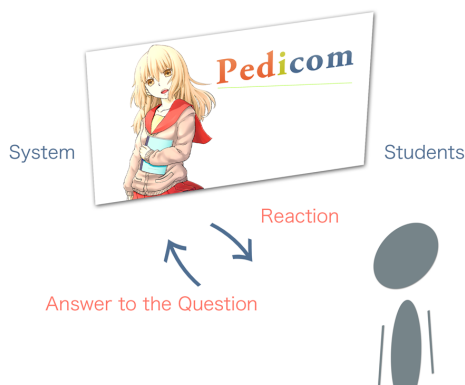


図 2.5 Pedicom システム概念図



図 2.6 Pedicom の導入シーン

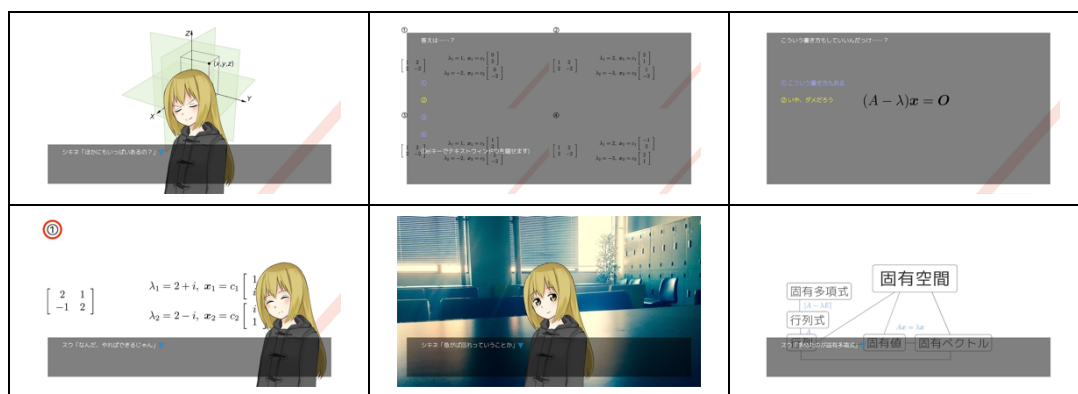


図 2.7 Pedicom のさまざまなシーン

Pedicom を利用し、3 人の理系大学生を対象に線形代数の学習を行わせ、学習中の情意に関するアンケートと理解度テストを行なった。情意に関するアンケートの結果からゲームは実験参加者にとって興味深いもので、教師キャラクターは親しみやすく魅力的であると感じられたことがわかった。また、本実験において全ての実験参加者は教師キャラクターに励まされていたと答えた。理解度テストからは全ての実験参加者のスコアの向上が確認できた。また、実験の前後で固有空間に関するコンセプトマップを描画させたところ、図のように全ての参加者のノードの数が増加していることが確認された(図 2.8)。

この研究からはビジュアルノベルのシステムを活用することで教育エージェントを活用した学習コンテンツを実装することができ、この制作事例が学習者の情意面に良い影響を与え、学習効果も期待できることがわかった。ただし、この研究ではわずか 3 人を対象にした実験しか行われていないため、知見と呼ぶには至らない制作事例として考える必要がある。また、一度はコンテンツの設問への回答内容から学習者の数学への理解の傾向を導き出すことも検討したが、データ数が少なすぎることもあり、有効なモデルを構築することはできなかった。

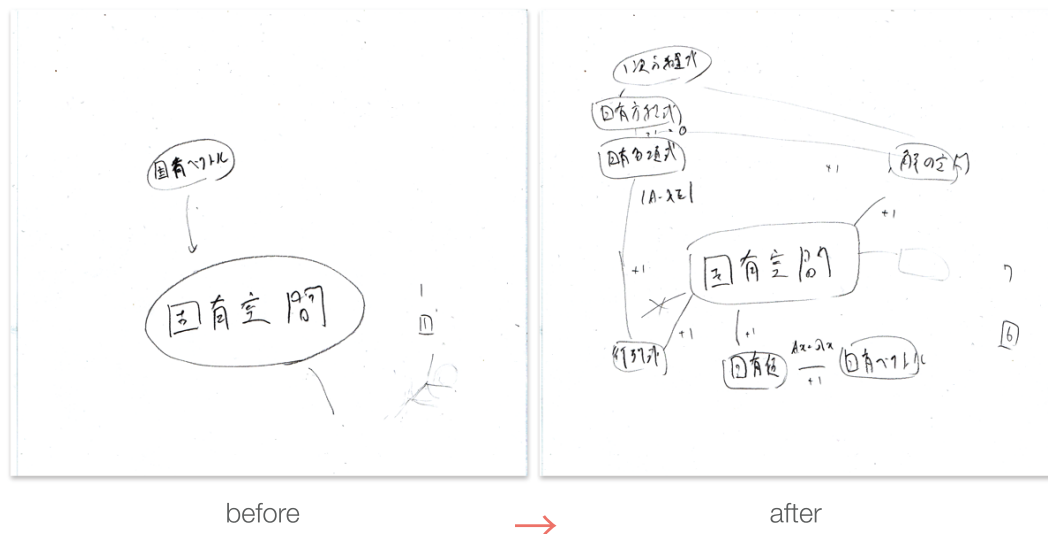


図 2.8 学習前後でのコンセプトマップの変化

2.4.3 先行する e-Learning システムの事例および関連研究のまとめ

2.1 節では e-Learning システムの活用事例とその長短に関して述べた。長所には教師がその場にいらなくても時と場所を選ばず、個々のレベルに対応して学習環境を提供できる点が挙げられる。これにより、LMS をリメディアル教育に活用する事例が見られる。

短所には教師がその場にいないことから、集中力の維持が難しいことや、学習者の感情、心理、気分、ストレスといったものをマネジメントしづらいこと、加えてシステムの操作を覚えることが教師にとって負担になる点などがある。

学習者の興味を引き、学習意欲を維持するための取り組みとして、ゲーミフィケーションやエンタテインメントという形で教材にエンタテインメントの要素を加えるものがある。

2.2 節では e-Learning システムで多く活用される動画教材と、その認知負荷にまつわる知見を述べた。動画は情報量が多く、対面式の授業を高い再現度で記録することができる。これにより手順、動作、運動などを視覚的に提示できるという利点がある一方で、その情報量の多さから認知負荷が高く、知識の少ない初学者はペースについていけないという問題がある。

セグメンテーション効果は、認知負荷の高い動画に対して、動画を短い区間に区切ることによって認知負荷を下げ、学習効率を向上させることができるというものである。しかし、専門知識反転効果の観点からは、知識の増えた学習者にとって短すぎるセグメンテーションが逆効果になることが言えるため、学習者の知識レベルに合わせた適切なセグメンテーションが重要だと考えられるが、学習者の知識レベルを事前に計測するのは簡単なことではないという問題がある。

現在普及している動画学習サービスではブックマーク機能やトランスクリプトからの頭出しという形で動的に学習者自らの手によってセグメンテーション効果が得られるような機能を有するものがある。しかし、いずれも対面授業における教師への聞き返しのような即応性のあるシーク操作に着目したものではなく、また仕様の違いによる認知負荷の違いなども明らかにされていない。

2.3 節、2.4 節では教育エージェントとビジュアルノベルおよびその実装例について述べた。ビジュアルノベルを用いれば教育エージェントを活用した学習支援システムを実装することができる。音声再生し、エージェントキャラクターをアニメーションさせることによって教師が学習者に対して講義を行なっているようなコンテンツを作成することもできる。動画とは違い、ゲームシステムであることから双方向性の高いシステムを構築することができるので、学習者の操作へのフィードバックを教育エージェントを通して描画することができ、学習者の情意面に良い影響を与え、励ましの効果をもたらすことができる。

しかし欠点としてシステムの構造上、ユーザーが逐一クリック操作を行うことでコンテンツを進行させる仕組みになっているため、制作者が意図した通りのタイミングやペースで視聴させることが難しく、それによって理解を妨げることがある。

次章ではこれらの背景の上に立って、本研究で提案するシステムのシステムデザインについて述べる。

第3章 システムデザイン

3.1 システム要件

本論文で e-Learning システムにおける動画のシーク操作やスライスの長さに関する調査を行うため、新しく e-Learning システムを提案する。システムの要件として重要なのはまず「教師による講義形式の授業を再現した動画コンテンツを作成できる」ということである。ただし、e-Learning システムにおける動画ということで、一般的な動画形式のメディアファイルのことを指すのではなく、本論文ではゲームの CG などのリアルタイムレンダリングのコンテンツも含めた、制作者のタイムラインに沿って再生される動的コンテンツ全般のことを動画コンテンツと定義する。

そして、本論文では学習者がアクセス可能なメディアの切れ目のことをスライスと定義した。このスライス単位のシーク操作が可能であることも要件とする。シーク操作のための UI としてシークバーや戻るボタン、進むボタン、一時停止ボタンを設置する。

最後にスライスの長さを自由に設計できることを要件とした。これは、後述する実験の中でスライスの長さや位置による比較を行うためで、既存の講義動画では発言の長さの設計がされていないので目的の調査を行うためのコンテンツの制作が難しいからである。

要件についてまとめると以下ようになる。

- ・ 要件1：教師による講義形式の授業を再現した動画コンテンツを作成できる。
- ・ 要件2：スライス単位のシーク操作が可能である。
- ・ 要件3：スライスの長さを自由に設計できる。

3.2 シーク操作時の心理メカニズム

通常の動画プレイヤーではシーク操作がしづらいことは 2.2.4 節で述べた。本研究ではその原因について、一般的な動画メディアファイルが内容に即した意味のまとまりでスライスされていないという点に着目した。

議論を明確にするためにもう一度、言葉の定義を整理する。動画など、自動的に進行するメディアにおいてシークバー、一時停止、早送り、巻き戻しなどの操作によって移動することのできる場所をスライスと定義する。例えば 30fps の動画の場合、1 秒間に 30 のフレームが存在するので 1 分間の動画であれば $30 \times 60 = 1800$ フレームの場面から構成されている。動画プレイヤーではこの全てのフレームに移動することができるので、この動画は 30 分の 1 秒毎に等間隔で 1800 のスライスを持っているということになる。

それに対し、自動的に進行する教材メディアを用いた学習において学習者が一度に処理することのできる情報の意味的なまとまりをセグメントと定義する。この定義はセグメンテーション効果に関する従来研究における定義と矛盾しない。

筆者らはそこから発展して、学習者がシークバー、一時停止、早送り、巻き戻しなどの操作を可能な場合、自らの手で現在視聴中のセグメントの終端を決めていることに注目した。学習者にとっての授業のタイムラインはその瞬間動画教材から与えられている情報である“現在”とそれ以前に与えられた情報の“過去”と、今後教材が与える予定の“未来”から構成される。過去の情報にはさらに“処理済みの情報”と“未処理の情報”に分けられる。未処理の情報は現在の情報が蓄積していくもので、その後、事前知識や授業中の処理済みの情報と組み合わせながらある時点で学習者の中で処理が完了し、そのシーンまでの発話内容の理解が完了する。ここで発話内容の理解と強調しているのは、授業内容の理解と区別するためである。授業内容の理解は、発話内容を理解した上でより高度で抽象的な認知活動によりなされるのでここでは言及せず、そのために必要不可欠であり教材メディアの特性が強く影響すると考えられる発話内容の理解にのみ着目する。

情報が与えられてから必ずしも瞬時に発話内容の理解ができるとは限らないため、学習者は一時停止や巻き戻しの操作を行う。一時停止操作は学習者がこれまで得た情報を処理するために十分な時間を確保すること、もしくは現在の情報を停止させることで認知負荷を減らし情報処理を効率化することに役立つ(表 3.1)。

表 3.1 シーク操作と情報処理の関係

操作	情報処理
一時停止操作	情報処理するための時間を確保できる
	現在の情報を停止し、認知負荷を下げる
5 秒戻しなど、少し前のシーンに戻る操作	情報処理するための時間を確保できる
	見逃した、あるいは不完全に視聴したシーンから再度情報を獲得できる
シークバーなど、前のシーンに戻る操作	見逃した、あるいは不完全に視聴したシーンから再度情報を獲得できる

セグメントの定義に従えば、現在までに処理が完了し理解することのできた発話内容の終端がセグメントの終端になるので、一時停止操作を行ったタイミングで現在視聴中のセグメントの終端が決定される。しかし、その後一時停止から再開する点が次に視聴するセグメントの始端になっているとは限らない。学習者が過去の情報処理を行なっている間にも授業コンテンツは自動的に進行し続けるため、一時停止を実行する点と学習者が再開したい点にはギャップが生まれるのである(図 3.1)。このため、巻き戻し操作によりシーンを戻す必要があるが、通常のイ

ンタフェースでは戻りたいシーンにぴったり戻るのはほとんどの場合で不可能であるため、移動した先が目的のシーンよりも前か後かを判断する必要がある(図 3.2)。

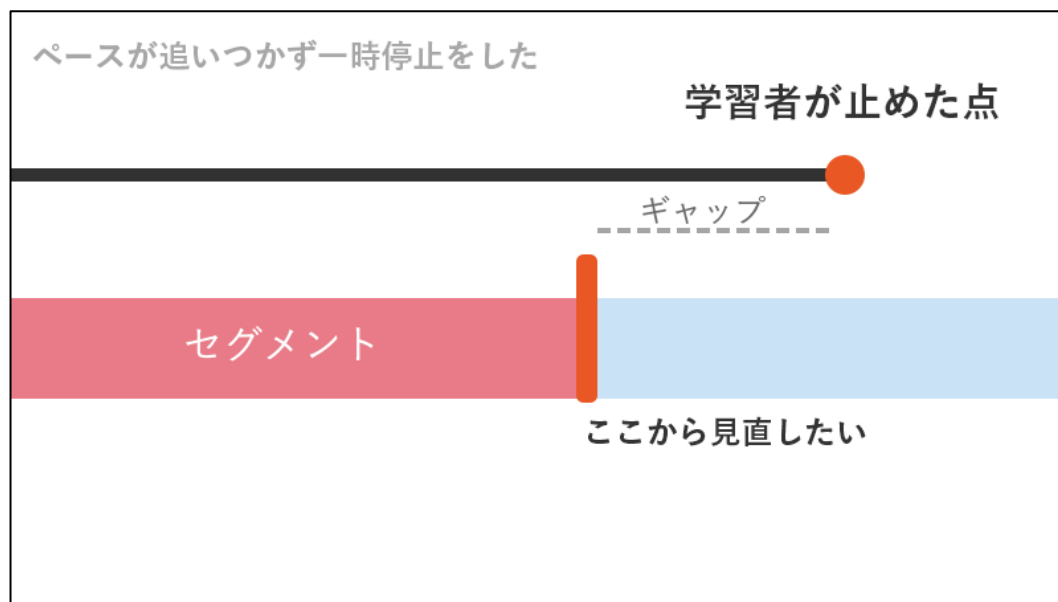


図 3.1 学習者が一時停止を行う点と再開したい点のギャップ

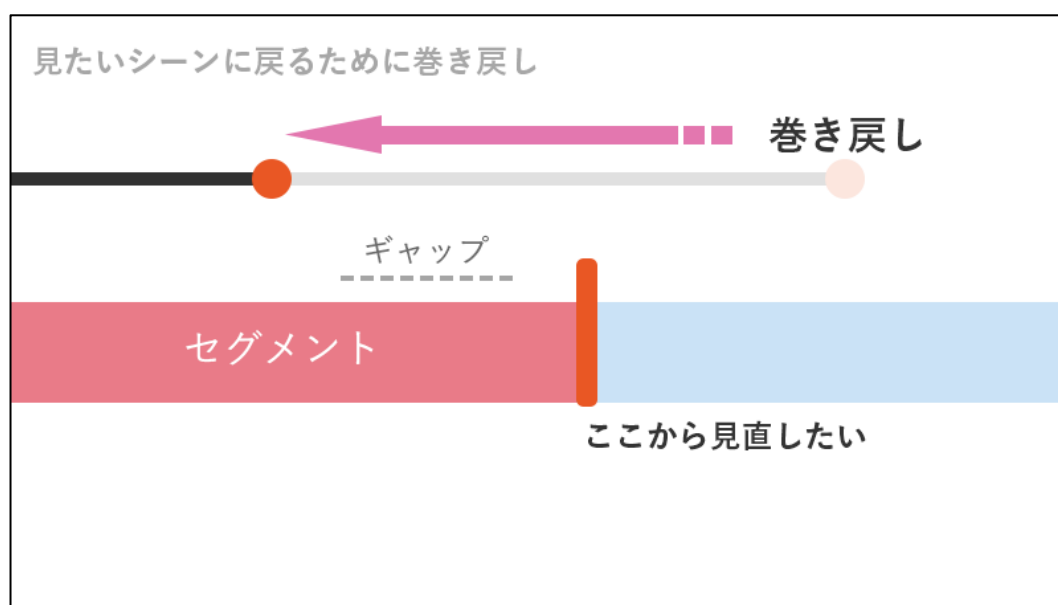


図 3.2 学習者が巻き戻し操作をしたときの目的シーンとのギャップ

ここで動画のスライスが細かく等間隔で存在している場合、移動した先は発話の始端ではなく途中である場合が多いだろう。そこで、そのシーンが現在何について話しているのかを理解を

するためには部分的な情報から推測する、あるいは次の文節まで少し待つ必要がある(図 3.3)。目的のシーンより前または後ろだった場合は同様の操作を繰り返し、同様に推測する必要がある。これは現在のシーンと目的のシーンを照合するのに負荷がかかるほか、不必要な時間がかかるためストレスの原因になる。

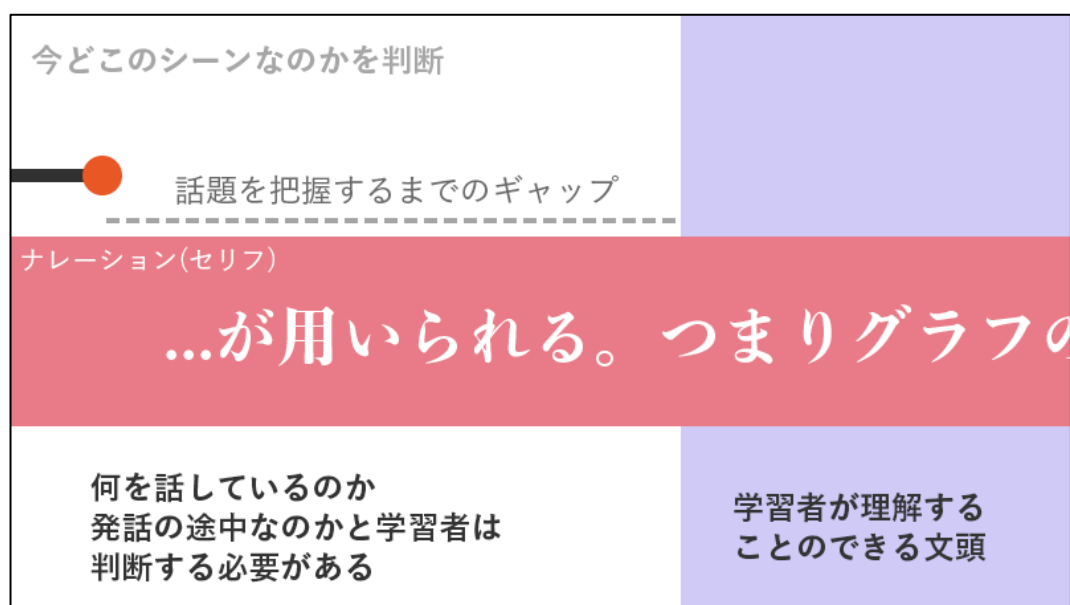


図 3.3 学習者がシーンの言葉を認識できるまでのギャップ

巻き戻しや早送りでも同様に現在のセグメントの終端が決定され、シーンの移動先は大まかな位置のみ決めることができるが発話スケールで見るとランダムであり、次のセグメントの始端を微調整する作業が発生してしまう。この微調整作業は直感的でなく細々としているため大変ストレスフルである。そのため学習者が作業そのものを放棄し、我慢して目的のシーンではない箇所から見始める、部分的な情報から推測して見続けるといった行動も引き起こし、これが更に情報処理を妨げるといった悪循環に繋がる。Hasler らの実験[15]において、一時停止ボタンが有効にはたらいだものの、あまり多く使用されていなかったという事例があるように、セグメンテーション効果が得られたとしても、その作業により発生する認知負荷が大きすぎるため学習者が機能を利用しないというケースもあると考えられる。

そこで筆者が着目したのは、常に発話の先頭に移動できるようにスライスの位置が設定されていればシーク操作時の認知負荷が減るのではないかということである。すなわち次の仮説が導かれる。

- ・ 仮説1：動画のスライスを、発話の内容を単位に十分細かく設定することでシーク操作にかかる時間が短くなる。
- ・ 仮説2：シーク操作時の認知負荷が低くなることで主観的なストレスが軽減される。

3.3 提案システム NOVELICA

要件を満たしたシステムを設計するにあたって動画プレイヤーを拡張するのではなく、ビジュアルノベルシステム上での動画コンテンツの構成を検討した。これは3.1節で述べた要件3を満たすためである。動画を用いた方法で、講義内容のタイムラインを厳密に設定し、撮影した動画メディアファイルを分割するというのも考えられるが、映像と音声は密接に結びついているため撮影後の編集が難しく、例えば発話間のポーズ時間長の微調整などが困難であるし、映像が滑らかに繋がらないため、学習者の認知に影響するノイズになると考えられる。対して、ビジュアルノベルの場合は、多くのゲームシステムと同様にリアルタイムレンダリングを前提としているため、音声ファイルさえ編集すればCGの描画時間をそれに合わせて微調整可能で、映像の繋がりも不自然にならない。また、動画をベースにした場合、ストリーミング再生では当然のこと、ローカルファイルの再生時にさえシーク操作を行った時に認知可能なわずかなタイムラグが生じることがあり、シーク操作からシーン認知までのギャップを埋める方針の本研究には適さないと考えた。以上の理由から本研究ではビジュアルノベルシステムを採用した。

ただし、従来のビジュアルノベルシステムでは2.3.2節で述べた通り、制作者の意図通りのタイミングやペースで視聴させることができないため動画コンテンツを実装することは困難であり、要件1を満たすことができない。また、通常のビジュアルノベルシステムの時間構造ではシーク操作が不可能であるため要件2も満たすことができない。

従来のビジュアルノベルは命令(1)の次に命令(2)を実行し、その次に命令(3)を実行するといったように、時間軸として直線的にスクリプトが書かれる(図3.4)。




図 3.4 ビジュアルノベルの描画手続き

ところがこの場合、スクリプトに書かれる命令の順番がコンテンツの描画情報に関わるため、シーンの頭出しを多く含むシーク操作には適していない。(図 3.5)


従来のビジュアルノベルの描画手続き

命令(1) 画像1
命令(2) キャラ1
命令(3) テキスト1
命令(4) 音声1
命令(5) テキスト2
命令(6) 音声2
----ここへ巻き戻す(頭出し)----
命令(7) キャラ2
命令(8) テキスト3
命令(9) 音声3



従来のビジュアルノベルの描画手続き

~~命令(1) 画像1~~
~~命令(2) キャラ1~~
~~命令(3) テキスト1~~
~~命令(4) 音声1~~
~~命令(5) テキスト2~~
~~命令(6) 音声2~~
----ここへ巻き戻す(頭出し)----
命令(7) キャラ2
命令(8) テキスト3
命令(9) 音声3



シーンが正常に戻せない

図 3.5 ビジュアルノベルの頭出しができない例

そこでビジュアルノベルの利点を活かしつつ動画コンテンツを実装可能な、NOVELICA という新しいフレームワークを提案する。NOVELICA は背景画像、キャラクター画像、テキスト、音声というビジュアルノベルを構成する要素を、あらかじめ設定したタイムラインに従って自動的に提示する。さらに、従来のビジュアルノベルの描画手続きをブロック化したことにより、ブロックごとのシーク操作も可能にした。ブロック化というのは図 3.6 のように動画コンテンツにおけるタイムライン上の 1 シーンの描画情報をブロックという単位でシステムに保持させる

ことであり、どのブロックからどのブロックに頭出しをしたとしても正確にそのシーンを描画できるようになる(図 3.7)。

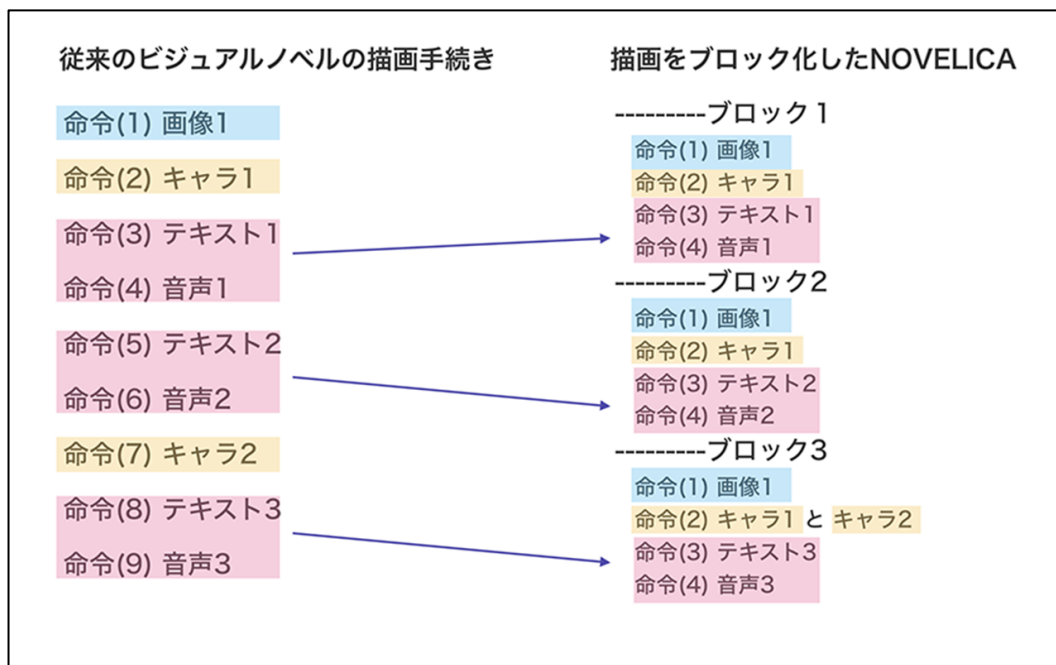


図 3.6 ビジュアルノベルのブロック化



図 3.7 ブロック化により実現するシーク操作

ブロックの中に含めるコンテンツの尺は自由に設定できるので、NOVELICA で実装される動画コンテンツのスライスの長さも自由に設定できる。例えば、「こんにちは」と「最近どう？」というセリフを別々のブロックに含めることもできるし「こんにちは 最近どう？」とひとつのブロックに含めることもできる。これにより、発話単位、会話単位などというスライスの分け方が可能である。また、音声のみのブロック、画像のみのブロック、動画を再生するブロックのようにブロックに含められるコンテンツの種類も自由である。これにより、十分高水準の動画コンテンツを作成可能であり、システム要件は全て満たされる。

3.4 コンテンツ制作事例

本研究では、高校数学をテーマにした学習コンテンツを NOVELICA によって制作した。科学、技術、工学、数学の教育(STEM 教育)は国家の経済発展などに関わるため、国際的に重要視されている。しかし、その根幹となる数学に対して苦手意識や不安感をもつ学習者は多く、これまで様々な議論がされてきた[66]。

数学に苦手意識や不安感をもつ学生は多いと言われている。数学不安(Math Anxiety)は学習中のストレスを引き起こし、脳のワーキングメモリを占領することによって学習の理解を妨げるといった研究がある[67][68]。

特に高校数学というカリキュラムは、文系、理系問わず取り組む必要があるため、コンテンツの対象となるユーザー数が多くなるだろう。2.4.2 節で紹介した、筆者の以前の取り組みである Pedicom も、元々は数学不安を抱える大学生を対象に制作した、教育エージェントとの対話体験を基調にストーリーを読み進めていくゲームアプリケーションである。

Beilock らの研究では、両親の数学不安により自宅でほとんど数学に関する会話がされないことに着目し、多くの家庭で行われている本の読み聞かせの代わりに iPad アプリによる数学関連のストーリーを一緒に読むことで、自宅での数学活動が増加し、それが児童の数学成績の向上につながったと報告している[69]。

数学は多くの人にとって重要であるが、多くの人にとってストレスに感じる科目であり、e-Learning システムを活用したリメディアル教育の題材としても適していると考えた。次節からは実際に制作したコンテンツについて述べる。

3.5 あかほん！ プロトタイプ

あかほん！は筆者が代表を務めるインディーゲーム制作チーム Chloro が企画・制作している学習支援コンテンツで、フリーゲームサイトなどで配信されている。本研究では、新たに NOVELICA のコンテンツとして「あかほん！ プロトタイプ」というシリーズを共同開発した[70]。

3.5.1 概要

あかほん！ プロトタイプは教師役のキャラクターと主人公キャラクターの会話を基調に構成されていて、ある単元の学習内容を大まかに掴むことを目的とした授業コンテンツになっている。コンセプトは「勉強ともしっかり仲良くなれる学習支援アプリ」で、難しく感じがちな勉強をもっと親しみを持って楽しめるように工夫されている(図 3.8)。

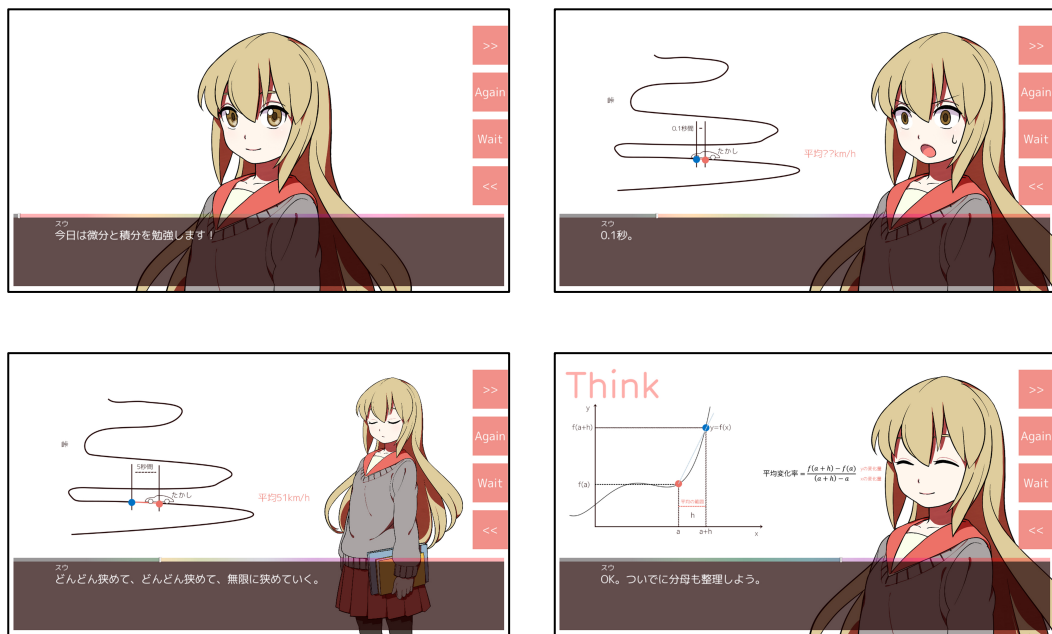


図 3.8 あかほん！ プロトタイプ

3.5.2 コンテンツのターゲットユーザーとねらい

あかほん！ プロトタイプは高校1年生程度の数学の知識があれば内容を理解できるようにレベルを設定している。ターゲットユーザーの層は高校生のみならず大学生や社会人でも、もう一度数学を勉強したいと思った利用者が気軽に試せるよう、知識や用語の紹介も工夫されている。

2.4.1 節で紹介した”認知症予防「まゆっこ」データロガー”[56]のようにコンテンツの社会実装も検討しているため、なるべく老若男女問わず、ユーザーの間口を広く取っている。

3.5.3 基本仕様

授業は主人公役のシキネと教師役のスウとの会話のみで進行する。脚本はひとつの会話(シキネとスウの数セリフからなるやりとり)が5~10秒の時間に収まるように設計されており、長ゼ

リフを喋り続けるような場面は無くしてある。これにより、テンポの良い会話劇を実現した。

音声は声優に依頼し、2.3.2 節で紹介したビジュアルノベルにおける会話の韻律情報が不自然にならないよう考慮し、ポーズ長などを編集した。

背景は白(無地)を基調とし、余計な情報をなるべく少なくするとともに、解説の中で効果的に図やグラフを用いている。

スライスはいくつかの会話から構成される 5~10 秒程度の長さにそれぞれ設定されており、シークバーやボタンを用いてのシーク操作が可能である(NOVELICA 1.0 ではシークバーのみ)(図 3.9)。

コンテンツの中で、教師役のスウが主人公役のシキネに質問を投げかける部分がいくつか設定されており、そのブロックではユーザーが応答するまで進行が止まるようになっている(応答待ちの設置)。

ゲームエンジンは、NOVELICA 1.0 では AIR Novel[71]を、NOVELICA 2.0 では Unity[72]と Unity アセットの宴[73]を利用した。

プラットフォームは、Windows、 macOS、 iOS、 Android に対応している(NOVELICA 1.0 では Windows、 macOS のみ)。



図 3.9 NOVELICA のユーザーインターフェース

3.5.4 デザイン

全体的に、あまり堅苦しくならないように、ポップな色合いで統一した。イラストや UI のデ

デザインも全体の雰囲気合うように留意した。キャラクターはイラストレータのノビル氏に依頼し、ポップで老若男女に受け入れられるようなデザインの男女の高校生キャラクターにした(図 3.10)。



図 3.10 教師キャラクター スウのデザイン

3.5.5 音楽

音楽は、テレビ番組のように場面に合わせて適切な BGM を用意した。楽曲はいずれも学習の邪魔にならないよう、静かめの構成になっている。

そして、授業コンテンツの最後には 1 分程度の歌が動画付きで流れるようになっている。これには授業全体の振り返りを楽しく歌って覚えるというねらいがある。

3.5.6 あかほん！プロトタイプ A-微分・積分編-

本研究の実験で主に用いたのは「あかほん！プロトタイプ A-微分・積分編-」という微分・積分を学習するタイトルである。微分・積分という単元は日常生活での具体的な現象への考察と数学の抽象的な思考の両面が重要となるが、他の数学の単元と独立して学習しても大きな支障がないという特徴がある。また、本質的な理解は高度な数学的視点が必要となるが、計算自体は数学 II の範囲ではそこまで高度なものを求められない。

本格的な数学をテーマに、噛み砕いた話題とも関連づけやすいため他のテーマに先立ってこちらを制作した。

第4章 予備実験および展示評価

4.1 コンテンツを用いた体験授業実験

本研究のふたつの仮説を明らかにするにあたって、まずは作成したコンテンツが教材として有用であるのかどうかを検証する必要があると考えた。「あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-」を通常のビジュアルノベル、NOVELICA、動画の3つのパターンで用意し、授業を受けさせる実験を行なった。

4.1.1 実験概要

「あかほん！プロトタイプ A」の微分・積分編を用いて評価実験を行う。ただし、微分・積分編とは言うが、授業内容はほとんどが微分に関するものである。このコンテンツをビジュアルノベル形式の手動進行タイプ、提案手法の半自動進行タイプ、動画形式の自動進行タイプでそれぞれ用意した。この3条件はキャラクターやセリフなどを含めた、授業の内容は全く同じで、再生するシステムのみが異なっている(図4.1、表4.1)。

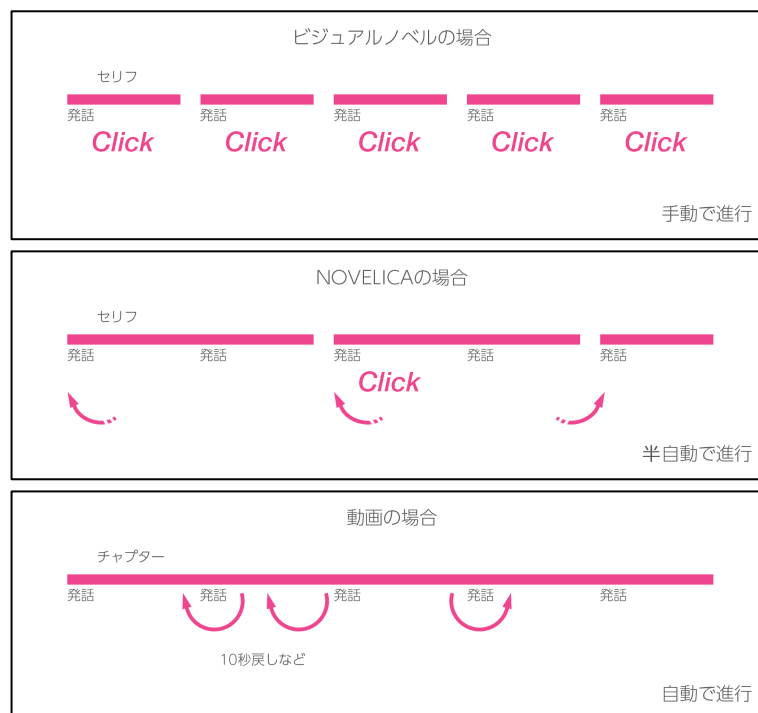


図 4.1 3条件の進行タイプの違い

表 4.1 3条件の詳しい特徴

グループ① ビジュアルノベル条件	セリフ毎に一回一回クリックして進行。 巻き戻しはできない。 バックログで過去のテキストは確認可能。 早送りもできない。 クリックを連打することで早く進めることは可能。
グループ② NOVELICA 条件	基本的に自動で進行。 任意のシーンで応答待ちを挟む半自動進行。 シークバーにより任意のスライス(発話の先頭)へ移動可能。
グループ③ 動画条件	自動で進行。 通常の動画プレーヤーで再生。 シークバー、10 秒戻しなどが利用可能。

4.1.2 目的

本実験の目的は、従来のビジュアルノベルおよび動画システムと比較して NOVELICA で学習した際のストレスや気分の状態に関する優位性を調査することと、NOVELICA に関して自由に感想を述べてもらうことである。

4.1.3 実験参加者

実験参加者として、数学に少しでも苦手意識がある日本の高校を卒業した男女 21 名に協力を得た。高卒者は数学 II・B で必ず微分・積分を学習しているためである。また、数学学習中のストレスは数学の絶対的な理解度に関係なく発生することが知られているため、今回は大学以降の人文系、理工系に関わらず参加者を集めた。

実験参加者を①ビジュアルノベルを用いた授業を受けるグループ、②NOVELICA を用いた授業を受けるグループ、③動画の視聴による授業を受けるグループの 3 つに分けた。

4.1.4 評価方法

評価として、二次元気分尺度(TDMS-ST) [74]、POMS[75]を実施した。

二次元気分尺度(TDMS-ST)は 8 項目の質問に回答することで心理状態(気分)を測定する心理尺度である。POMS は対象者がおかれた条件により変化する一時的な気分、感情の状態を評価する質問紙法のひとつであり、質問は 65 項目あるが短縮版では 30 項目に絞られており、信頼度も高い。POMS 短縮版の手引き[75]に従い、活気以外の 5 尺度の得点の合計から活気得点を差し引いた Total Mood Disturbance (TMD)得点をストレス得点として用いた。

4.1.5 実験手順

各参加者に対し、二次元気分尺度の1回目を回答させた後に、コンテンツを体験させた。その後、二次元気分尺度の2回目と POMS 短縮版(Profile of Mood States)にそれぞれ回答させた。これらによって各コンテンツによる学習中のストレス度合いと気分の変化を調査する。

また、全ての項目に回答させた後に残りの2つのコンテンツを体験させ、各被験者に3条件を比較したときにどう印象が異なったかを自由記述させた。

最後に実験参加者に自分の数学に関するプロフィールを入力させた。数学に関するプロフィールでは苦手意識の程度と、得意だった単元、苦手だった単元、数学に関する思い出を質問した(表 4.2)。

表 4.2 数学に関するプロフィールシート

あなたの数学に関する質問
・ 数学に苦手意識はありますか？
大変ある ある 少しある どちらでもない そんなにない ない 全然ない
・ 得意だった単元はなんですか？（微分、三角関数など。計算、図形などでも OK）
・ 苦手だった単元はなんですか？
・ 数学に関する印象や思い出などがあれば記述してください。

4.1.6 ストレスに関する結果と考察

4.1.6.1 POMS のストレス得点

図 4.2 は POMS によるストレス得点をグループごとに平均したときのグラフである。各グループの平均値に対して分散分析を行なったところいずれの組み合わせでも 5%水準で有意差は見られなかった。全体の平均点は 4.6 点だった。エラーバーは標準誤差を表している。

平均値の比較で有意差は認められなかったが、グループ②の分散が最も小さく、ストレス得点が低いという傾向が見られた。有意差が出なかった主な理由として、グループ①とグループ③では母集団全体の平均値である 4.6 点を大きく上回る参加者がおり、得点のばらつきが大きかったことが挙げられる。

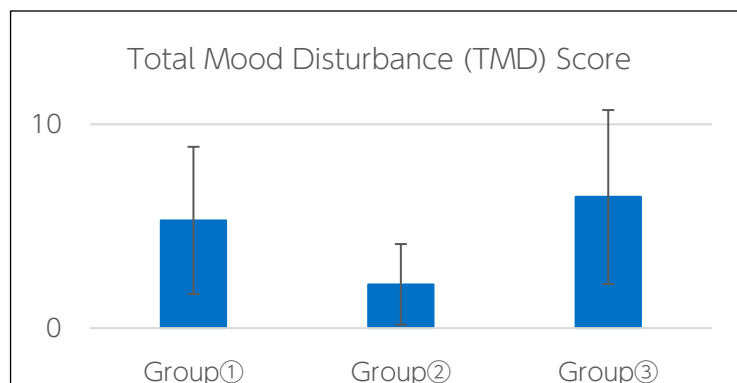


図 4.2 ストレス得点(TMD 得点)

4.1.6.2 高ストレス者のプロフィール

グループ①とグループ③においてストレス得点が 10 点以上だった参加者の数学的プロフィールを確認してみると表 4.3 のように、グループ①では、得意単元に「微分」を挙げている参加者のストレス得点が高く、グループ③では数学 II・B 以降を苦手単元とする参加者のストレス得点が高いことがわかった。

表 4.3 ストレス得点が高かった参加者とそのプロフィール

	TMD 得点	得意な単元	苦手な単元	グループ
参加者 1	20	微分・積分 ベクトル 場合の数	数列 極限	①
参加者 3	21	三角関数 図形	数学 II・B 以降	③
参加者 4	13	微分 図形	積分 確率	①
参加者 9	23	なし	全体的に苦手	③

また、自由記述の内容はコンテンツ①～③に関するものに分類し、MeCab[76]を用いて形態素解析と品詞の出現頻度分析を行なった。出現頻度が多く、かつ意味のとれる品詞は全て名詞と動詞だった。出現回数が 5 回以上の単語を表 4.4 に示す。

表 4.4 自由記述における頻出語

グループ①	頻度	グループ②	頻度	グループ③	頻度
クリック	14	できる	5	動画	7
自分	14	感じる	5	進む	6
進める	10			感じる	5
できる	10			考える	5
理解	6			テンポ	5
比べる	5				
考える	5				
会話	5				

グループ①では「クリック」「自分」「進める」などが多く「自分で進められるがクリックが面倒」といった記述が見られた。グループ③では「動画」「進む」「テンポ」などが多く「テンポよく動画が進んでついていけない」といった記述が見られた。グループ②の頻出単語は「できる」「感じる」などしかなく、記述ごとに違った意味合いで使われていた。

グループ①とグループ③のシステムへの不満と頻出単語の関連性を統計的に調べるために文意をクロス集計表にまとめ、 χ^2 検定を行った(表 4.5、4.6)。その結果、グループ①では「クリックが多い」こととシステムへの不満が有意に関連しており($\chi^2=10.831$ 、 $df=1$ 、 $p<0.05$)、グループ③では「(早すぎて)ついていけない」こととシステムへの不満が有意に関連していることがわかった($\chi^2=4.550$ 、 $df=1$ 、 $p<0.05$)。ネガティブな単語だけでなく、「自分のペースで進められる」などのポジティブな単語との関連も確認したが、統計的に有意ではなかった。

以上のことから、得意な単元の学習であれば手動進行タイプのシステムの逐一自分で進めなければいけないという点が不満となり、苦手な単元であれば自動進行タイプのシステムの理解が追いつかないまま進んで行く点が不満となることが本実験でも確認できた。それによって自分のペースをうまく作ることができず、強いストレスを感じる場合もあると推測できる。

一方、半自動進行タイプの NOVELICA で学習したグループ②では、単元の得意・不得意に関係なく、全ての参加者のストレス得点は10点を下回った。これは、NOVELICA による学習では学習者自身によるセグメンテーションを行いやすく、どのようなプロフィールの参加者に対しても低ストレスで学習することができたからだと考えられる。

表 4.5 グループ①自由記述におけるクロス集計表

			①はよくない		
			YES	NO	Total
「クリックが多い」	YES	Count	9	1	10
		Expected Count	5.2	4.8	10
		Residual	3.8	-3.8	
	NO	Count	2	9	11
		Expected Count	5.8	5.2	11
		Residual	-3.8	3.8	
Total		Count	9	11	10
		Residual	9.0	11.0	10.0

表 4.6 グループ③自由記述におけるクロス集計表

			③はよくない		
			YES	NO	Total
「ついていけない」	YES	Count	5	1	6
		Expected Count	2.8	3.2	6.0
		Residual	2.2	-2.2	
	NO	Count	4	9	13
		Expected Count	6.2	6.8	13.0
		Residual	-2.2	2.2	
Total		Count	9	10	19
		Residual	9.0	10.0	19.0

4.1.7 気分に関する結果と考察

4.1.7.1 二次元気分尺度(TDMS-ST)の回答結果

回答した得点のうち「活性度」と「安定度」、「快適度」と「覚醒度」を2軸とする二次元グラフに図示することで、気分の状態やその推移を確認することができる。

二次元気分尺度では覚醒度と快適度が直交するものとする。快適度は活性度と安定度のベクトル和、覚醒度は活性度から安定度を差し引いたベクトルとなっている。活性度と安定度の得点範囲は-10～+10点で、快適度と覚醒度の得点範囲は-20～+20点となっている。また、活性度と安定度が±5点の範囲内のエリアが平常心であり、その外側には「休息に適したエリア」「活動に適したエリア」「眠りのエリア」「興奮のエリア」などが定義されている。図4.3から図4.5は各グループにおける実験参加者の気分の推移を表している。各図の左側がコンテンツ体験前の気分、右側が体験後の気分となっている。グラフにプロットされる点の色は個別の実験参加者に対応しているので、同じ色の点の左図から右図への変位を見ることで、その参加者の気分の変化を確認することができる。

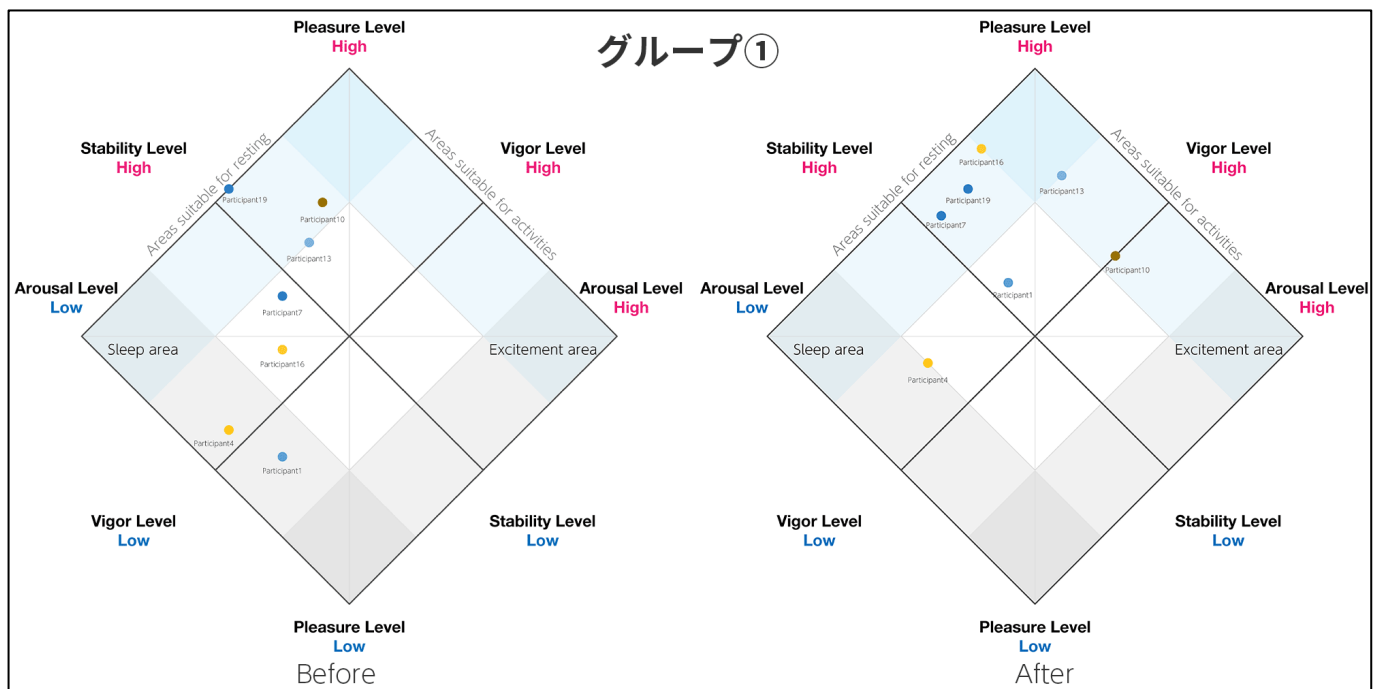


図 4.3 グループ①コンテンツ体験前後の気分の推移

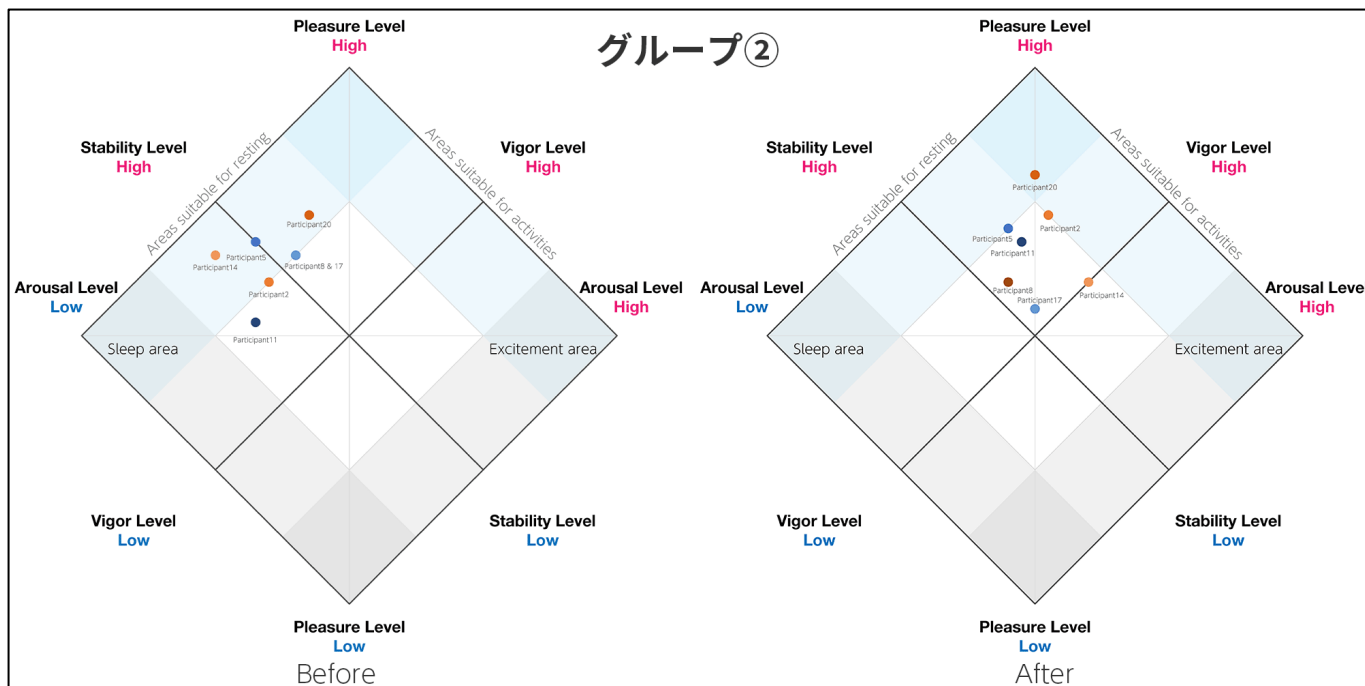


図 4.4 グループ②コンテンツ体験前後の気分の推移

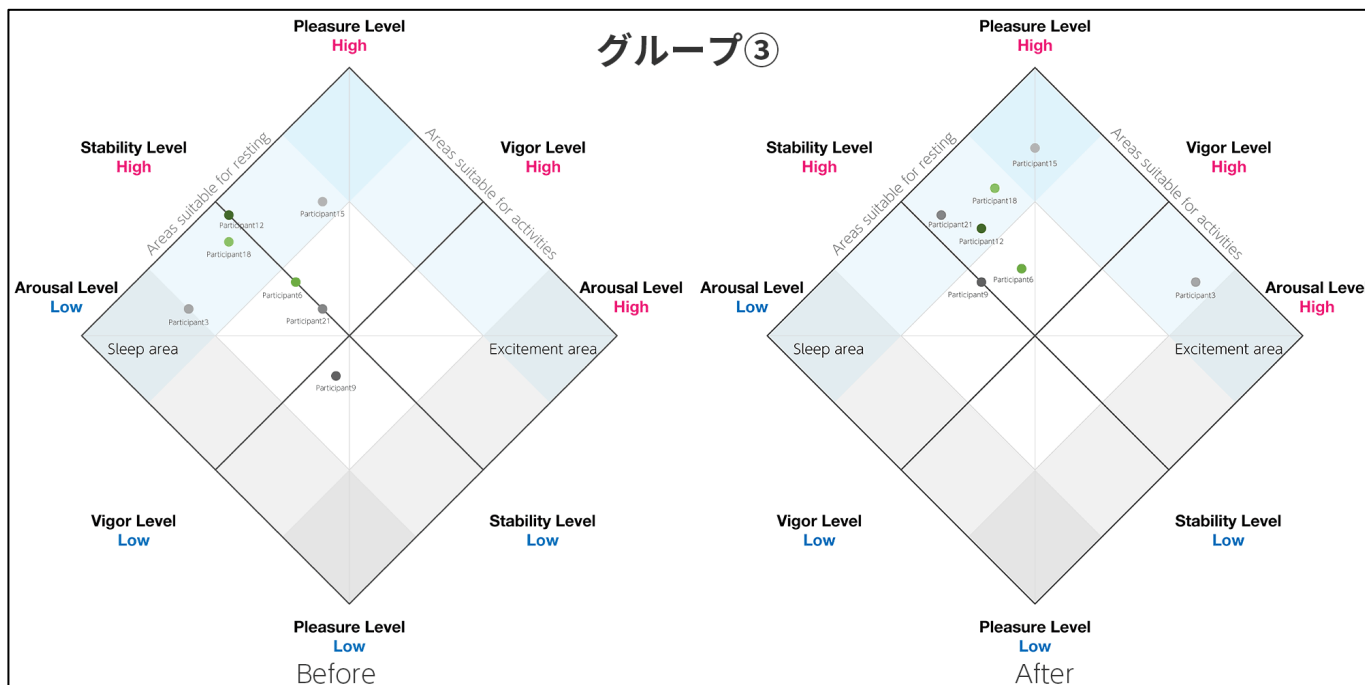


図 4.5 グループ③コンテンツ体験前後の気分の推移

4.1.7.2 気分の推移に関する考察

二次元気分尺度による気分の推移を見ると(図 4.3~4.5)、グループ②では7人中全員において覚醒度の上昇が見られた。また、7人中6人が安定度5点以上のエリアから5点以下のエリアに移っていた。定度が5点以上の場合、眠りや休息に適している状態を表すが、この変化はリラックス状態から平常レベルの覚醒状態へ変化したことを意味する。残りの1人も快適度の高いエリアにおり、活動に適した気分状態であったと言える。

一方でグループ①、グループ③では体験後も覚醒度が低いままの参加者が多く見られる。中には、他のエリアから休息に適したエリアへ移っている者もいた。コンテンツの体験後、全てのグループにおいて活性度の上昇が見られたが、グループ①、グループ③では他に全体の傾向を示すような変化は認められなかった。

グループ③の動画が対話性に乏しく、眠くなるというのは従来研究により言われていることと合致する。グループ①のビジュアルノベルにおいても単調な操作感により、集中力を欠いてしまうのではないかと考えられる。

今回の実験においては、グループ②の NOVELICA に不規則に応答待ちが挿入されたことが刺激になり、適度な覚醒状態を最後まで保ったまま学習が行えたのだと考えられる。

今回のコンテンツは計 10 分程度の授業時間であったが、さらに長時間の学習ではそれぞれのグループの気分や集中力により大きな差が出てくるのではないかと考えられる。

4.1.8 コンテンツを用いた体験授業実験のまとめと課題

この実験では、「あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-」を通常のビジュアルノベル、NOVELICA、動画の3つのパターンで用意し、数学に少しでも苦手意識がある日本の高校を卒業した男女21名の実験参加者にコンテンツを視聴させ、学習中のストレスや学習前後の気分の変化を計測する質問に回答させる実験を行った。

POMS 短縮版の結果からは NOVELICA による学習では学習者の事前知識量に関わらず低ストレスで学習できる傾向があることがわかった。二次元気分尺度の結果からは従来システムに比べて学習中に適度な覚醒状態を維持できることが示唆された。以上のことから、従来のビジュアルノベルおよび動画システムと比較して NOVELICA で学習した際のストレスや気分の状態に関する優位性はあると考えられる。

ただし、実際にどのようにシーク操作を行っているのかが観察できなかった点、今回はシステム間の比較しか行っていない点、スライスの位置や大きさによる違いやシーク操作時の認知負荷に関する評価を行っていない点が課題として残された。

4.2 展示評価

コンテンツのテキストを英語に翻訳し海外でワークショップやデモ展示を行った。利用者がどのように NOVELICA を利用し、あかほん！ プロトタイプに関心を示すのかを観察した。

その中でも、ノルウェーで実施された科学技術とゲームに関するワークショップ(“Games, culture and science for boys and girls”)では13歳から70歳まで幅広い年齢層の10人の参加者が NOVELICA および、あかほん！ プロトタイプを体験した(図 4.6)。コメントシートには“I liked that it taught a lot of information in such a short time” や “I like the way it kind a looked like anime”といったコメントが残され、概ね全員から好感を得られる結果となった。

しかし、中には「早すぎて理解が追いつかない」という旨のコメントも散見された。そもそも今回の参加者は約半数が高校生以下だったため、レベルが不適切だったのだと考えられる。

その他に、いくつかの展示を通じて共通して見られた課題は、利用者が UI の操作に困惑する様子が何度か見られた点であった。チュートリアル映像を用意しても見ないケースが何度もあり、 unnecessary クリック操作をこちらが指摘するまで続けることがあった。確かに、NOVELICA はビジュアルノベルの見た目をした動画コンテンツなので、ビジュアルノベルに触れたことのある人はそのように使ってしまうのも自然である。NOVELICA を用いた実験を行う際には必ず使い方を事前に丁寧に説明する必要があることがわかった。

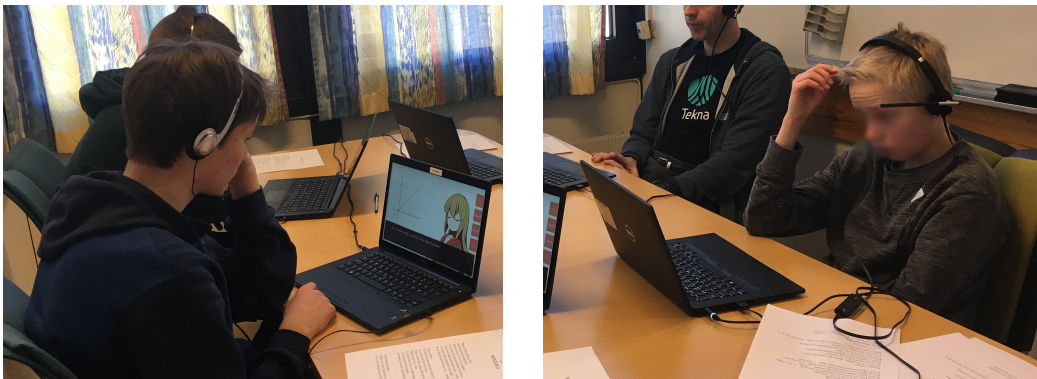


図 4.6 “Games, culture and science for boys and girls”の様子

第5章 シーク操作分析実験

5.1 目的

筆者は、3.2 節で述べたように、操作によって移動した先のシーンを瞬時に認識できるようなスライスを設定すれば、より認知負荷の低い状態で巻き戻し操作が可能になるのではないかと考え仮説を唱えた。

- ・ 仮説1：動画のスライスを、発話の内容を単位に十分細かく設定することでシーク操作にかかる時間が短くなる。
- ・ 仮説2：シーク操作時の認知負荷が低くなることで主観的なストレスが軽減される。

「あかほん！ プロトタイプ」では音声の韻律情報を崩さないために5～10秒ほどの会話単位ブロック(スライス)で区切られているがこの実験ではそれをさらに細くした発話毎のスライスの条件も用意した。以降、本実験においてはブロックとスライスの混同を防ぐため、スライスに統一して述べる。実験の目的は動画のスライスの長さや位置の違いによる、シーン探索課題にかかる時間および印象の差を明らかにすることである。

5.2 実験用システム

動画のスライスの長さや位置が認知負荷に与える影響を計測するためのシステム要件を以下に箇条書きにする。

- ・ 自動で進行する、静止画ベースのシステム。(画面の動きによる認知負荷をなくすため)
- ・ 動きが重要ではない授業内容。
- ・ 専門的知識を含む授業内容。
- ・ 操作後、瞬時に次のシーンへ移動可能。(セグメント間のポーズの影響を考慮しないため)
- ・ 仮説2：シーク操作時の認知負荷が低くなることで主観的なストレスが軽減される。
- ・ 各条件でスライス以外は同じ操作性。

以上を満たすように、NOVELICAのコンテンツ「あかほん！プロトタイプA-微分・積分編-」を(A)セリフ単位、(B)複数セリフからなる会話単位、(C)通常の動画と同じように30fps、の3条件でスライスし、シークバーとボタンによってそれぞれのスライスに移動できるようにした。

「あかほん！プロトタイプ A-微分・積分編-」は微分・積分に関する会話ベースの授業コンテンツであるが内容に聞きなれない英語や難しい専門用語は含まれず、全体的に高校生程度の認知能力があれば話題についていける内容となっている。セリフは3～5秒程度で、極端に長いセリフなどは含まれない。各条件のコンテンツはそこから約2分間のシーンを抜き出したもので、以下のような基準で選んだ。

- ・ 数学的な話題について話しているシーン。
- ・ (A)、(B)、(C)で重なるシーンを含まない。
- ・ (A)、(B)、(C)の話題は独立で、得られる知識に従属関係が無く、どの順番で見ても有利あるいは不利にならない。従属関係が無いとは(A)で焦点となった話題を(B)で再確認するようなシーンを含まないということである。
- ・ 例題の出題等、熟考が必要な問いかけを含まない。

また通常の NOVELICA は応答待ちも挿入できるが今回は動画のスライスの比較を行うために2分間最初から最後まで自動で進行するようにし、動画と同等にした。

条件(A)では約2分間のコンテンツを41個のセリフ1行毎のスライスで分割した。1スライスあたり平均3秒である。(B)条件では5～10秒ほどのいくつかのセリフからなる会話単位で17個のスライスに分割した。1スライスあたり平均7秒である。(C)条件では一度 NOVELICA で作成したコンテンツをキャプチャして 30fps の動画として書き出したものを、(A)(B)と同じインタフェースで操作できるようにした。1スライスあたり30分の1秒で、約3600スライスに分割されている。これらをドラッグやクリックによって好きな場面に移動できるシークバーと“進むボタン”“Again ボタン”“Wait ボタン”“戻るボタン”の4種類のボタンで操作できるようにした。“進むボタン”と“戻るボタン”では(A)(B)では1スライス毎、(C)では5秒毎に前後のシーンに移動することができる。“Again ボタン”は聞き返し用のボタンで、(A)(B)は現在のスライスの先頭に、(C)では押したタイミングの5秒前の場面に何度も戻ることができる。“Wait ボタン”は一時停止用のボタンであり、(A)(B)では押したときのスライスの頭から再開する。

(A) (B) (C)各条件について動作に関する仕様を表5.1に、セリフの区切り方の例を表5.2に示した。表5.2では(/)スラッシュがコンテンツのスライスを示しており、コンテンツ視聴中はシークバーやボタンによってこのスライスへ移動することが可能である。逆に言うと、スライスが無いところに移動することはできない。いずれの条件においてもシークバーの使用時は画面左上にサムネイルが表示されるようになっている。

表 5.1 用意した条件と動作仕様

条件	スライス(数)	シークバーによる操作	戻る/進むボタンによる操作
(A)	セリフ毎(41) 平均 3 秒	任意のスライスに移動	前後のスライスに移動
(B)	会話毎(17) 平均 7 秒	任意のスライスに移動	前後のスライスに移動
(C)	30fps (3600) 1/30 秒	任意のスライスに移動	5 秒間隔の移動

表 5.2 各条件のセリフの区切り方の例

(A)	スライス (/) は 1 セリフ毎 /スウ：使う式は同じ。道のり÷時間。/ /シキネ：ええ……。/ /スウ：ただし調べる範囲を狭くするの、どの辺の速さが知りたい？/ /シキネ：じゃあ、第 2 ストレートで。/ /スウ：それならここからここまで 1 分間調べよう。/
(B)	スライス (/) は 2、3 セリフからなる会話毎 /スウ：使う式は同じ。道のり÷時間。シキネ：ええ……。/ /スウ：ただし調べる範囲を狭くするの、どの辺の速さが知りたい？ シキネ：じゃあ、第 2 ストレートで。 スウ：それならここからここまで 1 分間調べよう。/
(C)	スライス (/) 1/30 秒毎、セリフのいたるところに /スウ：使/ /う/ /式/ /は/ /同/ /じ/ /。/ (以下、/が区切りとなる) /道/の/り/÷/時/間/。/ /シキネ：え/え/…/…/。 /スウ：た/だ/し/調/べ/る/範/囲/を/狭/く/す/る/の/、/ど/の/ /辺/の/速/さ/が/知/り/た/い/?/ /シキネ：じ/ゃ/あ/、/第/2/ス/ト/レ- /ト/で/。/ /スウ：そ/れ/な/ら/こ/こ/か/ら/こ/こ/ま/で/1/分/間/調/べ/よ/う/。/

5.3 実験方法

NOVELICA のコンテンツ「あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-」を(A)セリフ単位、(B)複数セリフからなる会話単位、(C)通常の動画と同じように 30fps、の 3 条件でスライスしコンテンツを視聴した後に、〇〇(数学用語)と教師キャラクターが発言している場面を探して、そのときのキャラクターの表情を答えるという課題を実験参加者に行わせ、その処理に要する時間と、主観評価による回答を記録した。

5.4 課題と条件

課題設計においては、数学的な事前知識が影響しない課題であることを条件とした。例えば「関数 $f(x)$ を微分せよ」のような問題の場合、解法を覚えていれば今回視聴するコンテンツの該当シーンを確認するまでもなく瞬時に答えられてしまうため除外した。

「あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-」ではスウという教師キャラクターがいくつかの表情パターンを変化させながらコミカルに進行していくので、この表情とセリフの数学用語の対応を制限時間内に答えさせるという作業を課題とした。

この課題に回答するためには、該当のシーンのおよその場所を思い出し、シークバーやボタンで移動して、シーンを認識し、前後関係を思い出しながらさらに移動するかももう少し見続けるかを判断するという情報処理を行う。

各条件の違いを表 5.3 に示す。授業コンテンツ全体を発話の内容を単位に十分細かく分割するので、最も細かい単位は(A)の 1 発話(セリフ)毎ということになる。しかし、これだとスライスが細かすぎてシーン探索時の操作の数が増えて認知負荷に繋がるということも考えられるため、2～3 発話(セリフ)のまとまりからなる会話毎というスライスにしたのが(B)である。

表 5.3 各条件の特徴

	スライス位置	シーンの認識しやすさ	確認できるセリフ (シークバーを使わない場合)
(A)	セリフ毎	瞬時	全て
(B)	会話毎	瞬時	スライスの先頭の発話
(C)	30fps	少し待つ	全て

(A)、(B)、(C)条件を比較した際に、仮説が正しければ(A)もしくは(B)が(C)よりも好成績を出すはずである。さらに(A)が(B)よりもパフォーマンスが高ければ、(A)のセリフを全て確認できるという点が(B)に対して認知負荷の面で有利で、逆に(B)が(A)より高ければ2～3セリフのひとつ目の部分だけ確認できればシーク操作や課題を十分低い認知負荷で遂行できることがわかる。

この課題と条件分けによって学習者が自身でセグメンテーションを行うときの認知活動においてどの要素がパフォーマンスに影響を及ぼすのかが明らかにできる。

さらに回答の制限時間を 60 秒にすることによって、焦りも感じられるようにした。簡単過ぎる課題ではスライスの違いによる認知負荷の違いをカバーできてしまう余裕を持たせてしまうと考えたため、ある程度難しい課題に取り組み、認知的な余裕がない状態でスライスの違いが回答時間の違いに表れるようにした。

(A)、(B)、(C)の各回で課題による有利、不利が起こらないように約 2 分間のコンテンツのうち時刻 1 分付近にあるシーンから課題となるテキストを抜き出して一律に問題を設定した。テキストの長さもほぼ一定で、主にテキストウィンドウに表示される一文の途中から抜き出したものを用いた。予備実験を行ったところ B 条件で「どのスライスに目的のテキストがあるのかはわかったが、テキストが出てくるまでに時間がかかり、表情を確認するのにも無駄に時間がかかった気がする」という指摘を受けた。これは表 3 を例にすると「1 分間」が目的のキーワードの場合、目的のスライスがわかっても「スウ：ただし調べる範囲を狭くするの、どの辺の速さが知りたい？ シキネ：じゃあ、第 2 ストレートで」とセリフが言い終わるのを待たなければならないケースがあるということである。この実験では文脈などから判断して目的のシーンの発見するまで探索時間をスコアとしたいが、(B)条件のような長いスライスでは課題テキストの位置によってスコアが数秒上下してしまうことになる。そこで(B)条件の課題テキストの位置はスライスからおおよそ 3 秒後の部分から抜き出すことにした。これは(A)条件のスライス長が平均 3 秒であることを参考にし、テキストの待ち時間によってスコアの上下や他の条件と比べたときに不利になることを防ぐためである。もちろんこのことは実験参加者には伏せた。また、表情を照合する際に視聴順による有利不利を起こさないために、アイコンの配置は問題ごとに変えた。

5.5 実験参加者

日本の高校を卒業した男女 30 名に協力を得た。内訳は、男性が 17 名(平均年齢 24.5 歳)、女性 13 名(平均年齢 34.7 歳)であった。

5.6 実験手順

実験は各参加者に対して表 5.4 に示す順番で行われた。

はじめに参加者の数学的な知識に対する自信を把握するために「質問 1 高校までに習った数学の知識に自信はありますか？」と「質問 2 微分・積分に関しての知識はありますか？」という質問に対して「はい」か「いいえ」で回答させた。回答の基準として質問 1 には「“関数 $f(x)$ ” “傾き” “座標”のような用語がピンとこない場合は「いいえ」にしてください」、質問 2 には「高校の内容をなんとなく覚えている、教科書を見直せば思い出せるなら「はい」にしてください。知らない、全然覚えていないという場合は「いいえ」にしてください」という注意書きを載せた。

これにより、実験参加者の事前知識を把握する目安にした。

次に、実験用システムの操作方法を説明し(A)、(B)、(C)のいずれかのコンテンツを視聴させた。このとき(A)、(B)、(C)の6通りの視聴順が30人の参加者で均等になるように設定した。それぞれのコンテンツ2分間の尺があり、その最後には白地に大きくSTOPと書かれた画面になり停止するようになっている。この状態になったら参加者に問題用紙を配布する。問題用紙は図5.1のようになっており、課題と回答用の表情のアイコンが並べられている。制限時間を1分とし、スタートの合図とともにシークバー、あるいはボタンを利用してシーンを探索させた。目的のシーンにたどり着き、表情を照合することができたら回答用紙のアイコンに丸をつけるように指示し、その瞬間までの時間を回答時間とした。課題は60秒あれば十分に制限時間内に回答できるように用意してあるが、オーバーした場合は回答時間60秒で誤答という扱いにした。時間の計測は実験監督者がストップウォッチ使って実験参加者の様子を見ながら行った。

表 5.4 実験手順概要

事前質問	質問用紙への回答
試行①	コンテンツ① (条件(A)、(B)、(C)のいずれか)
	コンテンツ①の課題
	コンテンツ①の印象評価
試行②	コンテンツ② (試行①で選ばれなかった条件のいずれか)
	コンテンツ②の課題
	コンテンツ②の印象評価
試行③	コンテンツ③ (試行①、②で選ばれなかった条件)
	コンテンツ③の課題
	コンテンツ③の印象評価
	試行①～③を3セット (計9試行)
事後感想	自由記述

各実験参加者には(A)、(B)、(C)を割り振られた視聴順で1回ずつ体験させ、これを3セット試行した。(A)、(B)、(C)の問題は1～3回目で異なるものを用意したので1参加者あたり計9問に回答させたことになる。9問それぞれの回答の後に、その課題に関する印象評価アンケートを行なった。設問は表6に示す通りである。Q1は(A)、(B)、(C)の授業コンテンツの内容および表情を探す課題がその参加者にとって難しかったかどうかを5段階評価させた。Q2～Q4ではその回の課題回答操作に対して主に精神的な抑圧を感じたかどうかを主観的に評価させた。回答に関して、例えばQ1とQ3の違いで混乱を招く恐れがあったため、それぞれ何に関して回答をし

て欲しいのかを補足説明した。

そして、全 9 回の試行を終了後(A)、(B)、(C)の違いに関して感じたことを自由記述させた。これら一連の実験の様子は可能な範囲でビデオ撮影し、結果考察の参考にした。この実験は筑波大学システム情報系研究倫理委員会により承認された。(審査承認番号(2019R306))。

B1-2
実験 No.

教師キャラクター スウが

「x 座標が a だったとする」

と言っている場面でどのような表情をしていたか確認して
教えてください。

制限時間は 1 分です。










図 5.1 問題用紙

表 5.5 印象評価アンケートの設問

いま体験したコンテンツに関する気持ちに一番近い番号に回答してください (1 - 5)	
Q1	課題は簡単だった – 課題は難しかった
Q2	気持ちよかった – イライラした
Q3	簡単だった – めんどくさかった
Q4	ストレスを感じなかった – ストレスを感じた

50

5.7 実験結果

5.7.1 全体の傾向

回答時間と印象評価の分析では課題への正答、誤答問わず全ての試行を対象にした。ここでは学習者が回答に至るまでのシーン探索にかかる時間とそのときの印象を分析したいため、その正誤は重要でないからである。回答の正誤は時間や印象評価とは別に正確な認知的判断を行えたかどうかという視点で分析する。ただし今回の実験では制限時間を 60 秒としたことにより、60 秒付近に度数の偏りが見られたので「時間切れ誤答」を含めた場合と除外した場合で一度分析した。その結果各条件の 1 回目でのみ分析結果に特筆すべき差が見られた。それ以外では「時間切れ誤答」含めた場合でも統計的に影響がないものとし、その結果を記す。

(A)、(B)、(C)各条件の 1～3 回目を平均した回答時間の分散分析(一元配置)を行ったところ有意差が見られた($F(2, 87)=6.86, p<0.05$)。Tukey の多重比較を行なった結果、(A)条件が(B)、(C)条件に対して回答時間が短かった(図 5.2)。

(B)と(C)の回答時間には有意差が見られなかった。

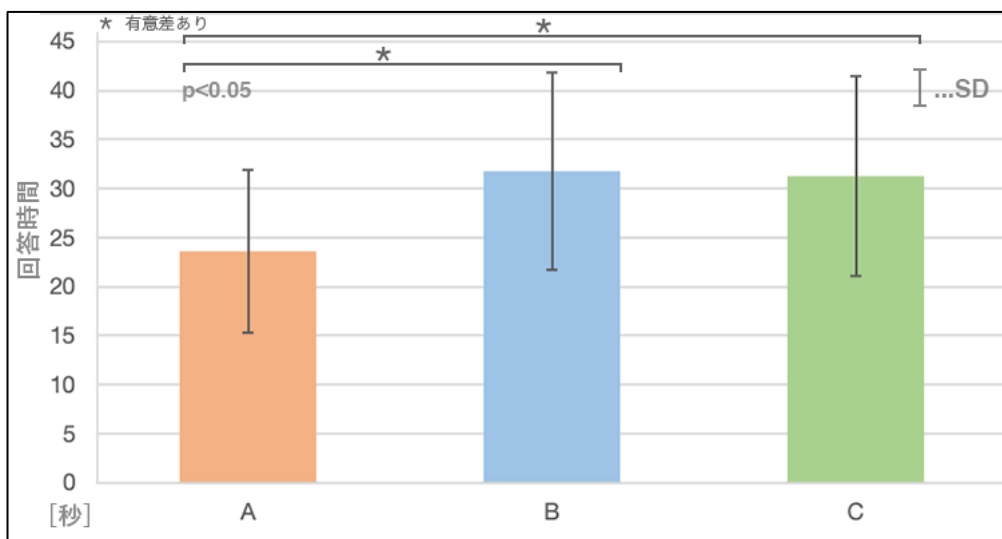


図 5.2 各条件の平均回答時間を示したグラフ

Q1～Q4 も同様に分散分析を行ったところ、Q1 は($F(2, 87)=11.19, p<0.05$)、Q2 は($F(2, 87)=5.60, p<0.05$)、Q3 は($F(2, 87)=3.37, p<0.05$)、Q4 は($F(2, 87)=4.18, p<0.05$)で有意差が見られた。多重比較の結果、(A)条件が(B)、(C)条件に対してスコアが低かった(図 5.3)。Q1 のみ(C)が(B)よりもスコアが低い傾向が見られたが、他では有意差が見られなかった。

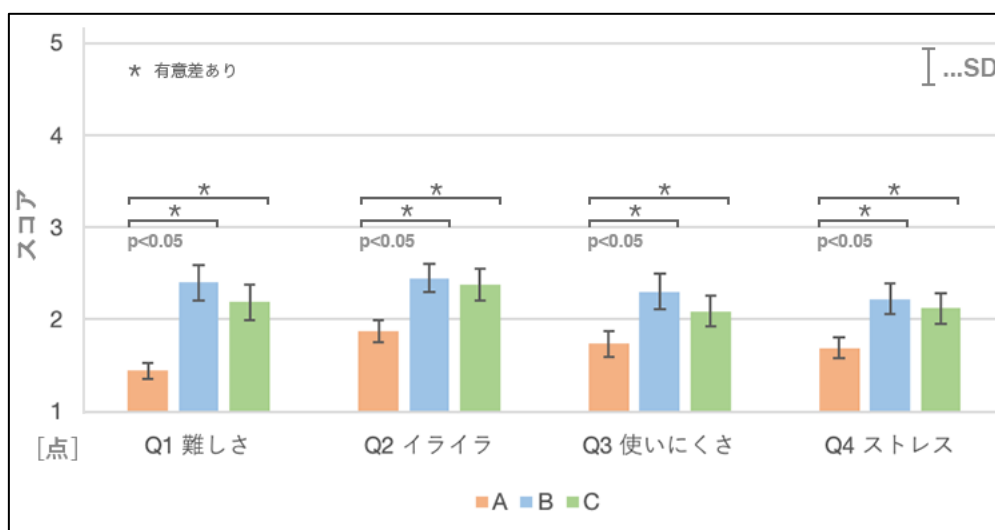


図 5.3 Q1～Q4 の平均スコアを示したグラフ

表 5.6 実験の正答数、正答率、誤答数

	正答数	正答率	誤答数（うち時間切れ数）
(A)1 回目	29/30	96.67%	1（0）
(B)1 回目	23/30	76.67%	7（6）
(C)1 回目	17/30	56.67%	13（7）
(A)2 回目	30/30	100%	0（0）
(B)2 回目	30/30	100%	0（0）
(C)2 回目	30/30	100%	0（0）
(A)3 回目	29/30	96.67%	1（0）
(B)3 回目	26/30	86.67%	4（4）
(C)3 回目	27/30	90.00%	3（3）
(A)全体	88/90	97.78%	2（0）
(B)全体	82/90	87.78%	11（10）
(C)全体	74/90	82.22%	16（10）

回答時間、(A)、(B)、(C)条件、印象評価 Q1～Q4 の関係に一般化線形モデル(GLM)のひとつである直線回帰モデルが当てはまると考え、データ分析ソフトウェア JMP[77]を用いて分析してみたところ、(A)、(B)、(C)条件($p<0.05$)および Q1($p<0.05$)が回答時間に対して有意な因子であることがわかった。Q2～Q4 では有意な関係が見られなかった。課題に対する正答率では、全体として正答率が高く 9 割程度であった中で(C)条件の 1 回目のみが 6 割程度程度の正答率となった。各条件の正答数、正答率を表 5.6 に示す。

(A)、(B)、(C)各条件において試行回数ごとに分散分析を行ったところ、1回目の試行は2、3回目に比べて回答時間が有意に長い傾向が見られた。これは課題そのものへの慣れの影響によるものだと考え、1回目と2、3回目を分けて更に分析することにした。

5.7.2 1回目の結果

1回目の結果は、「時間切れ誤答」を含めた場合について、各条件の回答時間について分散分析を行なった結果、有意差は見られなかった。Q1～Q4も同様に分散分析を行ったところ、Q1は $F(2, 87)=8.65$ 、 $p<0.05$ 、Q2は $F(2, 87)=4.71$ 、 $p<0.05$ で有意差が見られた。こちらも直線回帰モデルに当てはめたところ回答時間に対してQ1($p<0.05$)、Q3($p<0.05$)が有意な因子であった。「時間切れ誤答」だった参加者を分析対象から除外した場合、分散分析の結果は「時間切れ誤答」を含めた場合とほぼ同様な傾向が見られた。ところが、こちらも直線回帰モデルで当てはめたところ、回答時間に対してQ1($p<0.05$)が有意な因子であることは同じだったが、回答時間とQ3との関係は見られなかった。

5.7.3 2、3回目の結果

2、3回目の結果は、各条件の回答時間について分散分析を行なった結果、有意差が見られた($F(2, 87)=7.81$ 、 $p<0.05$)。印象評価の分散分析を行ったところ、Q1は $F(2, 87)=6.88$ 、 $p<0.05$ 、Q2は $F(2, 87)=3.90$ 、 $p<0.05$ 、Q4は $F(2, 87)=4.85$ 、 $p<0.05$ で有意差が見られた。Q3についてもP値が0.06と差がある傾向が見られた。直線回帰モデルに当てはめたところ(A)、(B)、(C)条件($p<0.05$)およびQ1($p<0.05$)が回答時間に対して有意な因子であった。

5.8 考察

5.8.1 回答時間に関する考察

全体の平均と2、3回目の平均の分析結果はほとんど同じ傾向にあったため、特に断らない限り以後は全体の結果について述べる。

(A)条件の解答時間が有意に短かったことから”仮説1：動画のスライスを、発話の内容を単位に十分細かく設定することでシーク操作にかかる時間が短くなる”が有効であることがわかった。

(A)条件と(B)条件はスライスの位置は発話の先頭という点で同じだが、スライスの長さは(A)がセリフ単位(平均約3秒)で(B)が会話単位(平均約7秒)と2倍ほどの差があり、表4に示した通り(B)には頭出しの移動直後には認識できないセリフ群がある。

今回の課題では目的の数学用語を含むセリフをどれだけ早く見つけられるかということが重要であったため、(A)の方が漏れなく素早くセリフを確認するのに向いており、(B)では2セリフ目以降を確認するのに時間を費やしてしまったのだと考えられる。(B)ではしばしば探索中に迷

ってしまっているような様子が見受けられ、ボタン操作を素早く行なったときに会話が飛ばし飛ばしで表示されるため文脈を見失ってしまったのだらうと考えられる。

(B)で誤答をした 10 人中 8 人が事前アンケートで数学の知識に自信がないと答えていた。今回の課題を正答するために直接的には数学的知識は要求されないが、授業の文脈を補う際に知識が少ないほど不利になったのではないかと考えられる。2.2.1 節でも紹介した Boucheix らの研究 [26]では、いくつかの短区間アニメーションを時系列順に表示するパターンと並行に表示するパターンでの比較も行っており、その結果時系列順に表示した方がパフォーマンスが高かったことを示している。これはアニメーションの前後関係の結びつけをしにくかったために認知負荷が高くなったと考察されている。(B)においても数学の事前知識に乏しい実験参加者は会話の前後関係を結びつけることに苦勞し、認知負荷が高まり探索に時間がかかってしまったのだらう。このことはセグメンテーション効果の観点からも説明できる。

(A)条件と(C)条件ではスライスの位置の違いが回答時間の違いに現れたものと考えられる。(A)と同様に漏れなく素早くセリフを確認する作業を行なっている様子が散見されたが、(C)のスライスでは発話が先頭から始まるとは限らないため(A)に比べてセリフの認知に時間がかかったのだと考えられる。また操作の仕方によっては(B)と同様にシーンによってはセリフの繋がりがわからなくなり、余計な認知負荷がかかったのだと考えられる。

今回(B)と(C)の間に有意差が見られなかったのは、スライスの長さによる認知負荷とスライスの位置による認知負荷が同程度に作用したからだと考えられる。

5.8.2 主観アンケートに関する考察

Q1～Q4 に関して(A)条件のスコアが有意に低かったことから”仮説 2：シーク操作時の認知負荷が低くなることで主観的なストレスが軽減される。”も有効であることがわかった。

今回の課題そのものの難しさを聞いた Q1 は回答時間と強い関係があることがわかった。課題に特別な事前知識は必要なく条件や難しさも揃えた上での実験だったことを考慮すると、回答するのに時間がかかった課題に対して難しかったという感想を抱いたのだと考えられる。

一方で Q2～Q4 は回答時間に対して関係が認められなかった。その理由としてまずは Q1 に比べて Q2～Q4 では条件間の差が小さかったことが言える。また、全体的にスコアが中間の 3 よりも低かったことから、そもそも今回の課題にそれほど精神的な抑圧を感じなかったということがわかる。さらに自由記述の解釈からは、スライスの長さやスライスを加えた位置以外の因子による影響がスコアを引き上げることになったのだと推察できる。

自由記述では、30 人中 10 人が意図していない条件間の差について言及していたことがわかった。その中でも多かったのはシークバーの使い勝手に関しての言及だった。今回の実験において(A)条件、(B)条件で使用したシステムはスライスが整数値であったことから、シークバー上の等分割された点に離散的に移動するような挙動をしていた。つまり(A)条件ではバーを 41 等分した点、(B)条件では 17 等分した点を飛び飛びに移動するような動きをする。それに対し、(C)条件は無数にスライスがあるためシークバーを 0 から 1 の連続値とみなし、その割合から移動地点

を決定するという仕組みになっておりシークバーは滑らかに動くようになっていた。自由記述の中で多く見られたのが「シークバーがカクカク動いて使いづらい」という旨の感想であり、これらが主観評価に影響したのだと考えられる。その他にも何点かシステムのインタフェースそのものに対する不満が見られた。

また、30人中14人の記述で「(A)、(B)、(C)の違いがわからなかった」といった旨の意見が見られた。これはスライスの違いによる認知負荷の違いが認識しづらいものであることを示唆している。すなわち、実際の認知負荷よりもインタフェースの挙動などのわかりやすい違いの方が主観的な印象評価に影響を及ぼしていたため、回答時間と Q2～Q3 の印象評価に関係が見られなかったのだと考えられる。

5.8.3 課題への回答の正誤に関する考察

与えられた問題自体は非常に簡単であるからシーン探索が完了できれば誰でも正答することができるはずであり、そのため全体的な正答率が高い。誤答の原因として考えられるのは時間切れか判断ミスであり、いずれも認知負荷によるパフォーマンス低下によるものだと推測できる。表7を見ると全体では1回目は正答率が低く2、3回目が高くなっており2回目から課題に慣れていったということがわかる。直線回帰モデルに当てはめたところ正答率は回答時間に対して強い因子となっており($p<0.05$)、認知負荷が回答時間に関わっていることがわかる。しかしこれは時間切れも誤答に含まれているため自明であるとも言える。

そこで、時間切れ以外の誤答に関しても分析を行う。時間切れ以外の誤答はほとんどが1回目でのみ確認された。これも全体的には不慣れな課題に対しての判断ミスという説明ができるが、中でも表7からわかる通り(C)条件で特に多く見られた。(C)で時間切れ以外の誤答をした参加者を撮影したビデオは1点しかなかったため、それ以外の参加者の(C)での挙動も含めた考察を行うが、(C)条件では実験参加者は操作によって移動した先が、セリフの途中ですぐに切り替わってしまってもそこに目的のテキストを見つけたらよく確認せずに回答しているようであった。(C)の2回目以降では正答率は低くないので、慣れていない1回目のときに十分な確認をしなかったことが表情の照合でミスを招く結果になったのだと考えることができる。これは2.1節での考察と同じく、学習者が移動先の微調整作業を放棄し、我慢して目的のシーンではない箇所から見始める、部分的な情報から推測して見続けるといった行動に似ており、誤答に繋がった例だと考えられる。

5.8.4 1回目の試行と慣れに関する考察

1回目の結果で「時間切れ誤答」を含めた場合に、回答時間と Q1、Q3 の間に関係が見られたことを考察する。Q1 で関係が見られることは、全体の結果のときと同様で、時間がかかった問題ほど主観的に難しいと感じたということで説明できる。Q3 については Q1 と似た質問であるが、Q1 が課題そのものの難しさを聞いているのに対して、Q3 ではそのシステムのインタフェ

ースが課題を遂行しにくかったかどうかを聞いている。1回目では他の試行と比べて「時間切れ誤答」が多く、それを含めるか否かで Q3 との関係性の有無が変わるというのは「時間切れ誤答」が Q3 の回答に深く関わっていることを示唆している。システムのユーザインタフェースは使うほどに慣れていくものなので慣れる前の 1 回目では多数の時間切れを招き、その参加者は Q3 で使いにくいという回答をしたのだと考えられる。実際の学習現場でも今回の課題ほど明確でないにしろ何かしらの制限時間というもののはつきまとうものだ。ある一定時間内に目的の操作が完了できないことが使いにくいユーザインタフェースという印象を持たせるのであれば、これは今後教材をデザインする際に留意すべき点であると言える。杉邑らによると、慣れていないユーザインタフェースでは視線のサッケードが細くなることや注視時間が長くなることが特徴として現れるらしく、表情を探すという今回の課題においても実験参加者の慣れが回答時間や時間切れに影響したのだと考えられる[78]。

5.9 シーク操作分析実験のまとめ

本実験では、動画のスライスの長さや位置がシーク操作時のパフォーマンスにどのように影響するのかを調査した。日本の高校を卒業した男女 30 名を対象に、授業動画コンテンツ「あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-」を(A)3 秒程度のセリフ単位、(B)7 秒程度の複数セリフからなる会話単位、(C)通常の動画と同じように 30fps、の 3 条件でスライスし、それぞれに対して目的のシーンを探索する課題を与える実験を行なった。

その結果、セリフ毎にスライスがあり、かつそれらが短い条件(A)が、条件(B)や条件(C)に比べて有意に回答時間が短く、また有意に主観的なストレスに関するスコアも低かったことから次の仮説

- ・ 仮説 1：動画のスライスを、発話の内容を単位に十分細かく設定することでシーク操作にかかる時間が短くなる。
- ・ 仮説 2：シーク操作時の認知負荷が低くなることで主観的なストレスが軽減される。

がともに有効であることがわかった。

Spanjers らはセグメンテーション効果では、アニメーションが意味のあるまとまりで区切られていることにより、学習者がその区切りでそれまでの情報を整理することができるということを述べている[79]。学習者が以前に見たシーンを探索するときに、そのシーンの文脈を覚えているとは限らないので、(B)のように飛び飛びで会話を表示するのは効果的でなかったと言える。(C)も同様で、中途半端な位置へのシーン移動がパフォーマンスを下げたことから、十分細かい発話単位のスライスが学習者の手による動画のセグメンテーションを効率的に行うのに重要だったと考えられる。しかしセリフ単位、つまり 1 発話単位で動画をスライスするのが必要十分であるのかは要検討である。今回行なった実験では、瞬時に発話を認知できることが課題での高パフォーマンスに繋がったが、実際の学習ではそれ以外にも意味の理解が重要になる場面も

多くある。また、今回の実験ではセグメント間のポーズを考慮していない。セグメンテーション効果に関する研究では、セグメント間に適度なポーズを挿入することで意味の理解を効率的に行えることが知られている[79]。本稿ではセグメント間にポーズを挟まず、移動先のシーン認知を低負荷で可能にするためのスライスの提案を行なったが、そこからさらに発展させて、文脈を考慮した意味理解を促進するためにはどのようなメディアあるいはシステムの構造が必要なのかを考える必要がある。

また、十分細かい意単位のスライスが用意されたメディアやシステムを作成するのは簡単なことではない。今回の教材は会話をベースにした授業コンテンツであったため、セリフ単位というスライスができたがそのようなスライスが難しいケースもある。Price らは動画に含まれる様々な情報をもとに対話的にメディアをセグメント化するシステムを提案している[80]。新しい構造のメディアの研究をするとともにその制作支援を併せて行うことにより、様々なシチュエーションや条件下での研究を推進できるだろう。そしていずれは Anguera らの NeuroRacer[53]のようにシステムを通じた認知機能改善のトレーニングを教育メディアでも行えるようにしたい。NeuroRacer では高齢者だけでなく 20 歳代でもマルチタスクに関する認知機能改善効果を報告している。若年の学習者においてもワーキングメモリが小さい等、認知機能の未発育により学習が困難なケースがあると考えられるが、NOVELICA のようなシステムを利用することで学習者の手によるセグメンテーションから認知機能の成長度合いを測定できることも考えられる。

第6章 一般公開と外部評価

6.1 社会実装のための一般公開

本研究の研究成果を社会の一般ユーザーにも利用できるよう、UIなどを改善した「あかほん！プロトタイプA-微分・積分編-」を一般公開した(図6.1)。PCおよびmacOS版はフリーゲーム配信サイト ふりーむ！[81]から、iOS版はApple AppStore[82]から、Android版はGoogle Playストア[83]から入手可能である。

公開版のNOVELICAでは学習者が各ブロックに到達した時刻や操作、回答のログを収集できる機能が追加されており、一般ユーザーの操作ログを収集することができる。また、任意参加のアンケートも実施しており、フィードバックが得られるようになっている。

現在、AppStore、Google Playストアでのユーザー評価は高く、あかほん！のターゲットユーザーの持つ需要に応えられていることが示唆される(図6.2)。

将来的にNOVELICAをプラットフォーム化することも考えており、一般の教師が学習者の操作ログを確認することによって、学習者がどのように学習しているのかを把握することができるように、それらの関係性について一般公開を通じて調査していくのが課題である。

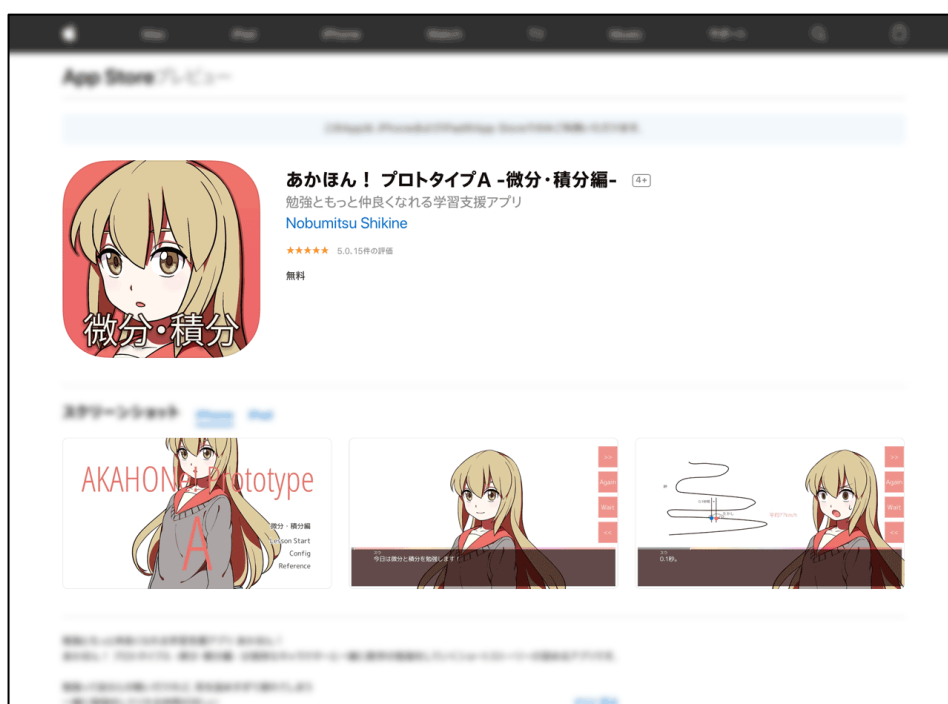


図 6.1 一般公開中の「あかほん！プロトタイプA-微分・積分編-」(AppStore)



図 6.2 ストアでのユーザー評価(AppStore)

6.2 外部評価

6.2.1 NOVELICA コンテンツの受賞

「Unity&宴ノベルゲーム開発入門」出版記念オンラインゲームジャムに筆者も参加し、新しい NOVELICA コンテンツを制作した(図 6.3)。



図 6.3 1+1=2 でいいのか？ (あかほん！ SS)

オンラインゲームジャムというのは、決められた期間の間にゲームを制作しあうコンテストである。特にこのゲームジャムでは「宴」というビジュアルノベルツールを利用することが条件となっている。

このとき新しく制作したのは「 $1+1=2$ でいいのか？ (あかほん！ SS)」というコンテンツで、数学をテーマにしたあかほん！のショートストーリーである。NOVELICA を利用しつつ、あかほん！プロトタイプ シリーズよりも簡素な構成で作成されている。キャラクターボイスもない。半自動進行する点やシーク操作が可能な点は NOVELICA から継承している。

「Unity&宴ノベルゲーム開発入門」出版記念オンラインゲームジャムにおいて、本作は工学社賞、MadnessLabo 賞、オーディエンス賞を受賞する運びとなった。講評からは NOVELICA の可能性に関する言及や、システムおよびコンテンツへの評価が伺えた。

6.2.2 東京ゲームショウ 2019 への出展

「あかほん！」を 2019 年 9 月に開催された東京ゲームショウ 2019 に出展した[84](図 6.4)。東京ゲームショウ(TGS)は総来場者数 20~30 万人の世界でも有数のゲーム、エンタテインメントに関する展示会である。TGS は小規模開発者向けにインディーゲーム選考ブースというものを設置しており、応募者の中から採択されたタイトルだけがそこに出品できる。TGS2019 では全世界から 322 件の応募があり、選考の結果、世界 22 カ国・地域から 86 のチームが選ばれ、そのひとつとして筆者らも参加することができた。

会期中は国内外の老若男女がブースを訪れ、「あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-」を中心にコンテンツを体験した。来場者の過半数は数学という言葉に拒否感を示しつつも、最後まで楽しく視聴している様子が見られた。

あかほん！プロトタイプはもともと 1 人向けのコンテンツだが、来場者の中には 2~3 人で同時に鑑賞する様子も見られた(図 6.5)。観察した限りでは、複数人での視聴の場合はコンテンツに含まれる、問いかけなどの応答待ちや、あるいはシーク操作により各々の視聴ペースを合わせているようであった。この様子から、NOVELICA を最大 5 人程度の複数人向け教材として拡張できる可能性が示唆された。

6.3 一般公開と外部評価まとめ

配信サイトにおける一般公開ならびにゲームジャム、展示会に出展したフィードバックから、NOVELICA とそのコンテンツ制作事例「あかほん！」の社会的な受容性が示唆された。TGS2019 での展示では本研究では想定していなかった複数人での視聴の様子も見られた。

課題としては、現状の NOVELICA はほぼ「あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-」以外のコンテンツがないこと、スライスの長さも会話サイズのものしか公開できていないことから、他の事例でも試す必要があると考えられる。

一般ユーザーの評価や利用状況に関する統計的分析も行えていないが、これは今後の

NOVELICA の機能として組み込んでいき、NOVELICA のシーク操作によるセグメンテーション分析ツールとしての立ち位置を明確にすることによって、教師や学習者自身が学習時のデータを確認できるように開発を続けていきたい。



図 6.4 TGS2019 参加の様子

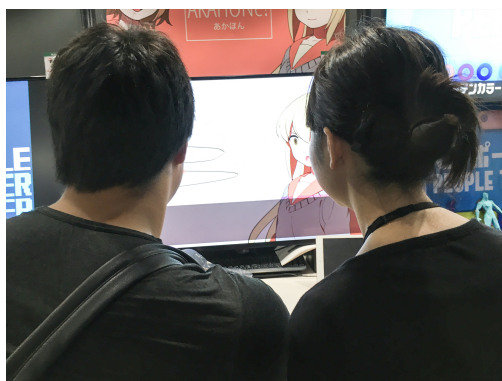


図 6.5 複数人でコンテンツを視聴する様子

第7章 結論

7.1 結論

本論文では、動画のシーク操作時の心理メカニズムをセグメンテーション効果と認知負荷理論(Cognitive Load Theory)の観点から考察し、以下のふたつの仮説を立てた。

- ・ 仮説1：動画のスライスを、発話の内容を単位に十分細かく設定することでシーク操作にかかる時間が短くなる。
- ・ 仮説2：シーク操作時の認知負荷が低くなることで主観的なストレスが軽減される。

これらを明らかにするため、スライスの長さを自由に設計した動画コンテンツを作成可能なe-Learning システム NOVELICA を提案し、調査のためのコンテンツ制作事例「あかほん！プロトタイプ」を開発した。

日本の高校を卒業した男女 30 名を対象に、授業動画コンテンツ「あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-」を(A)3 秒程度のセリフ単位、(B)7 秒程度の複数セリフからなる会話単位、(C)通常の動画と同じように 30fps、の 3 条件でスライスし、それぞれに対して目的のシーンを探索する課題を与える実験を行なった。その結果、条件(A)が条件(B)・条件(C)それぞれに対し有意に回答時間が短いという結果と、条件(A)が条件(B)・条件(C)それぞれに対し有意に主観的なストレスに関するスコアが低いという結果が得られた。この結果から本論文のふたつの仮説が有効であることがわかった。以上の研究成果より、授業動画を発話を単位にした位置でスライスすることで学習者による動的なセグメンテーションが可能になり、シーク操作時の認知負荷が低減することがわかった。

コンテンツを用いた体験授業実験では、「あかほん！プロトタイプ A -微分・積分編-」を通常のビジュアルノベル、NOVELICA、動画の 3 つのパターンで用意し、数学に少しでも苦手意識がある日本の高校を卒業した男女 21 名の実験参加者にコンテンツを視聴させ、学習中のストレスや学習前後の気分の変化を計測する質問に回答させる実験を行った。

POMS 短縮版の結果からは NOVELICA による学習では学習者の事前知識量に関わらず低ストレスで学習できる傾向があることがわかった。二次元気分尺度の結果からは従来システムに比べて学習中に適度な覚醒状態を維持できることが示唆された。

また、これら一連の研究成果と作成した制作事例を一般公開した。配信サイトにおける一般公開ならびにゲームジャム、展示会に出展したフィードバックから、NOVELICA とそのコンテンツ制作事例「あかほん！」の社会的な受容性が示唆された。

7.2 今後の課題と展望

本論文では学習者の認知活動に着目した新しい学習支援システムの提案を行ったが、いずれは Anguera らの NeuroRacer[53]のようにシステムを通じた認知機能改善のトレーニングを教育メディアでも行えるようにしたい。NeuroRacer では高齢者だけでなく 20 歳代でもマルチタスクに関する認知機能改善効果を報告している。若年の学習者においてもワーキングメモリが小さいなど、認知機能の未発育により学習が困難なケースがあると考えられるが、NOVELICA のようなシステムを利用することで学習者の手によるセグメンテーションから認知機能の成長度合いを測定できることも考えられる。このように本稿の知見を活かした学習システムにより認知機能のトレーニングをするといったことも検討していき、学習者の認知機能に関連した教育メディア研究を次なるレベルへと推し進めていきたい。

本稿で行った実験ではコンテンツ制作の制約などもあり、学習効果の測定を行うことができなかった。いずれは学校や学習塾に協力を仰ぎ、学習効果の面でも評価する実験を行いたい。

そしてこれまで検証することができたのは数学学習コンテンツのみなので、英語や国語、科学の分野でも本論文の知見が同様な形で通用するのかという疑問は残る。あるいはソフトウェアの使い方などの手順を教えることが中心のコンテンツでは最適なスライスの長さが異なっている可能性が十分にある。今後はより多様なテーマのコンテンツを作成し、様々な実験を行うことで各々のテーマで異なる部分や共通する部分を明らかにしていきたい。

また、一般公開しユーザーから収集したデータも現状では統計的な分析を行えていないため、これらを分析し、学習状況から理解度を推測するモデルの検討も将来の課題とする。

今後の展望は、NOVELICA コンテンツの制作支援環境「NOVELICA Editor」の開発を進めることである。社会の様々な教育者が NOVELICA を利用して教材制作ならびに教育活動を行える環境を提供したい。

また、NOVELICA は動画コンテンツを再生するシステムであると同時に、利用者のシーク操作によるセグメンテーションがどのように行われているのかを記録することができる。それによって、様々なコンテンツや様々な状況におけるシステムの利用データを収集することができるので、それらを分析し、数学に限らずより様々な条件下でのセグメンテーションに関するより一般的な知見が得られることが期待できる。

これらを実現させるために本研究成果の社会へのより広い発信を計画している。NOVELICA および NOVELICA Editor は教材を作りたいユーザー全体に対して利用可能なよう開発を進めていき、学習者に対しては「あかほん！」シリーズをさらに展開させることにより訴えかけていきたい。現在は数学の 1 単元のためのリリースであるが、他の単元や他の教科のコンテンツの拡充を図る。展示評価や TGS2019 の反応からは「あかほん！」はアニメ・漫画・ゲームなどに興味を持つ層に人気があることが窺え、まずはこの層に対するアプローチを考えていくのが効果的であると思われる。現在までに一般公開から収集されたデータからは、主なユーザーが 10 代後半から 30 代であることがわかっている。前者は学生で、後者は大人になってからも一度学習を

したいと考えている社会人であると予想できる。両方で年齢層は違うものの、受験勉強など実用的な学習を目的としているとは考えづらく、どちらもアニメ調のコンテンツへの興味が導線となったと推測できる。さらにその中で学習内容に興味がある、あるいは自信がある層と、そうではない層との間でシーク操作の仕方などがどのように違うのかを考察することによって授業コンテンツの娯楽性と勉強の最適なバランスを探り、ユーザーの満足度を上げていくことを目標にする。その他にも、事業として継続的に NOVELICA を社会に発信していくためにもマーケティングの視点から試行錯誤を行っていく。そして「あかほん！」の展開を糸口にしてプラットフォームとしての NOVELICA を教育関係者ならびに学習者にアピールしていきたい。「あかほん！」シリーズを展開させていく中で、学習者の習熟度とシーク操作の関係や、専門知識反転効果により娯楽への興味が学習への興味に移る様子などを観察・分析をすることができるだろう。

最終的には NOVELICA というプラットフォームを拡大していき、誰もが自由に教材を作成し誰もがそれらにアクセスできるような教育活動の行える社会を実現したい。

研究業績

査読付雑誌論文

1. 敷根伸光, 山中敏正, 星野准一: ビデオ学習におけるセグメンテーション効果のための巻き戻しインタフェースの要因分析, デザイン学研究, 66 巻 2 号 pp.9-18, (2019)

査読付国際会議論文

1. Nobumitsu Shikine, Toshimasa Yamanaka, Letizia Jaccheri, Javier Gomez, Junichi Hoshino: NOVELICA: A Visual Novel System to Make People Forget Their Negative Feelings on Mathematics, International Conference on Entertainment Computing (ICEC2018), Springer LNCS11112, pp.329-333, Poznan, Poland, September 17-20, (2018)
2. Nobumitsu Shikine, Toshimasa Yamanaka, Junichi Hoshino: A Game System for Learning Mathematics with Pacing Considering Individual Motivation and Feeling, International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), Springer LNCS10507, pp.169-176, Tsukuba City, Japan, September 18-21, (2017)
3. Nobumitsu Shikine, Yuki Hayashi, Takeshi Akiba, Mami Tanasaki, Junichi Hoshino: Game System of Coordination Skills Training for Elderly People, International Conference on Entertainment Computing (ICEC2016), Springer LNCS9926, pp.24-37, Vienna, Austria, September 28-30, (2016)
4. Nobumitsu Shikine, Toshimasa Yamanaka, Junichi Hoshino: The Pedagogical Agent in Learning Mathematics for Undergraduate Students, IASDR 2015: International Association of Societies of Design Research – Poster, November 2-5, (2015)

報告

1. 敷根伸光, 山中敏正, 星野准一: インタラクティブな教育デザインを支援するシステム NOVELICA, 情報処理学会研究報告. ヒューマンコンピュータインタラクション研究報, 2019-HCI-184, No.13, pp 1-7, (2019)
2. 平井伸幸, 敷根伸光, 川本雅之, 星野准一, 知的アニメーション技術による高度アクセシブル社会システムの視覚化支援, FIT2016 第 15 回情報科学技術フォーラム, (2016)

3. 敷根伸光, 山中敏正, 星野准一: 学習エージェントとの対話体験による数学学習支援ゲーム, 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, 2015-CE-129, No.3, pp 1-8, (2015)

招待講演

1. Nobumitsu SHIKINE: NOVELICA A Game to Make People Forget Their Negative Feelings on Mathematics, Norwegian University of Science and Technology, Kart Gløshaugen, February 14, (2018)

受賞

1. 工学社賞, MadnessLabo 賞, オーディエンス賞, 「Unity&宴ノベルゲーム開発入門」出版記念オンラインゲームジャム, 『1+1=2 でいいのか? (あかほん! SS)』, (2018)
2. Best Paper Honorable Mention Award, International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), 2017 年 9 月 18 日 (“A Game System for Learning Mathematics with Pacing Considering Individual Motivation and Feeling”), (2017)
3. ムービー・動画部門賞, 作曲部門賞, 同人ゲーム・オブ・ザ・イヤー2014, 『西暦 2236 年』, (2015)

謝辞

本論文は、筆者が筑波大学グローバル教育院エンパワーメント情報学プログラムに在籍中の研究成果をまとめたものです。筑波大学芸術系の山中敏正教授には指導教員として 5 年間にわたり多大なご指導とご支援を賜りました。本研究の柱であるメディアの時間構造やセグメントといった論点に到達するまで根気よく見守ってくださいました。ここに心から感謝の意を表します。

ならびに、数学学習支援ビジュアルノベルという研究テーマの立ち上げに際しては副指導教員の筑波大学システム情報系の星野准一准教授に多くの先行事例や関連研究をご紹介していただき、ご指導を賜りました。ここに心から感謝の意を表します。

本学の田中文英准教授、望山洋教授、田中佐代子教授には、本論文の審査をしていただき、多くの貴重なご指摘やアドバイスをいただきました。深く感謝いたします。

ノルウェー科学技術大学(Norwegian University of Science and Technology)の Letizia Jaccheri 教授ならびに Javier Gomez 教授には遠い海外から大学に招待していただき 1 ヶ月の共同研究をさせていただきました。“Games, culture and science for boys and girls”ではまたとない大変貴重な経験をさせていただき、NOVELICA の研究開発に活かされました。深く感謝いたします。この研究の一部は NTNU ARTEC により支援されており、ERCIM「Alain Bensoussan」フェローシップの在任中に実施されました。

本研究は筆者の運営してきた、インディーゲームゲーム制作チーム Chloro と共同開発したシステムおよびコンテンツを利用して進められました。特にイラストレーターのノビル氏、声優の愛々氏ならびに K 氏の力なしではコンテンツを形にすることはできませんでした。心から御礼申し上げます。

また、「あかほん！」というコンテンツの原型を形作るのに、他愛もない会話の中でアイデアをくださいました高校時代からの友人、井部正樹氏、松井祐一郎氏、土田博貴氏には深く感謝いたします。

そして、翻訳家 David Evelyn 氏の翻訳により国内外へ広く研究成果を発信することができました。心から感謝いたします。

最後になりますが、博士課程への進学に理解を示してくださり、経済的な面においても気持ちの面においても、いつも暖かく援助して下さった両親には心から感謝を述べたいと思います。

参考文献

- [1] 日本放送協会：NHK オンライン, <https://www.nhk.or.jp> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [2] YouTube, LLC：YouTube, <https://www.youtube.com> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [3] 日本オープンオンライン教育推進協議会：JMOOC -無料で学べる日本最大のオンライン大学講座 (MOOC), <https://www.jmooc.jp> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [4] 株式会社ナガセ：予備校・大学受験の東進：<http://www.toshin.com/es/> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [5] Udemy：オンラインコース - いろんなことを、あなたのペースで、
<https://www.udemy.com> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [6] Coursera：<https://ja.coursera.org> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [7] 日本イーラーニングコンソシアム：「e ラーニングの利用に関する一般アンケート」, 2015
- [8] 中村亮太, 他：「Ghost-Tutor」:個人の学習ペースを考慮した学習支援システム, 情報処理学会論文誌 47(7), 2099-2106, 2006
- [9] Kalyuga, S. and Sweller, J.: Measuring Knowledge to Optimize Cognitive Load Factors During Instruction, Journal of Educational Psychology, 96(3) 558-568, 2004
- [10] Mayer, RE.: Multimedia learning: Are we asking the right questions?, Educational psychologist, 32(1), 1-19, 1997
- [11] Mayer, RE. and Chandler, P.: When learning is just a click away: Does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages?, Journal of educational psychology, 93(2), 390-397, 2001
- [12] Mayer, RE. and Moreno, R.: Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning, Educational psychologist, 38(1), 43-52, 2003
- [13] Kalyuga, S.: The Expertise Reversal Effect, Educational Psychologist, 38(1), 23-31, 2003
- [14] Kalyuga, S.: Expertise Reversal Effect and Its Implications for Learner-Tailored Instruction, Educational Psychology Review, 19(4), 509-539, 2007
- [15] Hasler, BS., Kersten, B. and Sweller, J.: Learner control, cognitive load and instructional animation, Applied Cognitive Psychology, 21(6), 713-729, 2007
- [16] William, RW. and Sunnie, LW.: An Argument for Clarity: What are Learning Management Systems, What are They Not, and What Should They Become?, TECHTRENDS TECH TRENDS 51, 28-34, 2007

- [17] Moodle - Open-source learning platform | Moodle.org, <https://moodle.org> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [18] Shin, WS. and Kang, M.: The Use of a Mobile Learning Management System at an Online University and Its Effect on Learning Satisfaction and Achievement, *International Review of Research in Open and Distributed Learning* 16(3), 110-130, 2015
- [19] Lee, JJ. and Hammer, J.: Gamification in Education: What, How, Why Bother?, *Academic Exchange Quarterly* 15(2), 1-5, 2011
- [20] Goehle, G.: Gamification and web-based homework, *PRIMUS*, 23(3), 234-246, 2013
- [21] Meletiou-Mavrotheris, M.: GAME-ENHANCED MATHEMATICS LEARNING FOR PRE-SERVICE PRIMARY SCHOOL TEACHERS, *Proceedings of International Conference on Information Communication Technologies in Education ICICTE-2012*, 455-465, 2012
- [22] Sesame Workshop: Sesame Street | Preschool Games, Videos, & Coloring Pages to Help Kids Grow Smarter, Stronger & Kinder, <https://www.sesamestreet.org> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [23] 小松川浩：理工系の知識共有に向けた e-Learning の実証研究, *メディア教育研究* 1(2), 11-22, 2005
- [24] 今井順一, 他：e-Learning による工科系数学教育に関する実証評価, *工学教育* 54(4), 16-20, 2006
- [25] 大河内佳浩, 他：e ラーニングを利用した入学前教育と初年次教育への接続, *工学教育* 60(6), 146-149, 2012
- [26] Boucheix, JM. and Forestier, C.: Reducing the transience effect of animations does not (always) lead to better performance in children learning a complex hand procedure, *Computers in Human Behavior*, 69, 358-370, 2017
- [27] Lee, CI. and Tsai, CL.: An Efficient Approach to Slicing Learning Video to Improve Learning Effectiveness by Considering Learner Prior Knowledge, *EURASIA J. Math., Sci Tech. Ed* 2018, 14(6), 2221-2232, 2018
- [28] Novak, JD.: Concept maps and Vee diagrams: two metacognitive tools to facilitate meaningful learning, *Instructional Science*, 19(1), 29-52, 1990
- [29] Dankbaar, MEW., Alsmas, J., et al.: An experimental study on the effects of a simulation game on students' clinical cognitive skills and motivation, *Advances in Health Sciences Education*, 21(3), 505-521, 2016
- [30] Blayney, P., Kalyuga, S. and Sweller, J.: The Impact of Complexity on the Expertise Reversal Effect: Experimental Evidence from Testing Accounting Students, *Educational Psychology*, 36(10), 1868-1885, 2015
- [31] Chen, O. Kalyuga, S. and Sweller, J.: The Expertise Reversal Effect is a Variant of the More General Element Interactivity Effect, *Educational Psychology Review*, 29(2), 393-405, 2016

- [32] Sweller, J.: Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design, *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312, 1994
- [33] van Merriënboer, JJG. and Sweller, J.: Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions, *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177, 2005
- [34] Brunken, R., Plass, JL. and Leutner, D.: Direct Measurement of Cognitive Load in Multimedia Learning, *Educational Psychologist*, 38(1), 53-61, 2003
- [35] Chandler, P. and Sweller, J.: Cognitive Load Theory and the Format of Instruction, *Cognition and Instruction* 8(4), 293-332, 1991
- [36] Nelson, BC. and Erlandson, BE.: Managing cognitive load in educational multi-user virtual environments: reflection on design practice, *Educational Technology Research and Development*, 56(5-6), 619-641, 2008
- [37] Reisslein, J., Atkinson, RK., et al.: Encountering the expertise reversal effect with a computer-based environment on electrical circuit analysis, *Learning and Instruction*, 16(2), 92-103, 2006
- [38] TED Conferences, LLC: TED: Ideas worth spreading, <https://www.ted.com> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [39] Johnson, WL., Rickel, JW., Lester, JC.: Animated Pedagogical Agents: Face-to-Face Interaction in Interactive Learning Environments, *International Journal of Artificial Intelligence in Education* 11,47-78, 2000
- [40] Marsella, SC.: Interactive Pedagogical Drama: Carmen's Bright IDEAS Assessed, *International Workshop on Intelligent Virtual Agents IVA 2003: Intelligent Virtual Agents* 1-4, 2003
- [41] Si, M., Marsella, SC. and Pynadath, DV.: THESPIAN: An Architecture for Interactive Pedagogical Drama, *Artificial Intelligence in Education - Supporting Learning through Intelligent and Socially Informed Technology*, *Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 2005*, July 18-22, 2005
- [42] Lester, JC., Converse, SA., et al.: The Persona Effect: Affective Impact of Animated Pedagogical Agents, *Conference: Computer Human Interaction - CHI*, 359-366, 1997
- [43] Shen, E.: The Effects of Agent Emotional Support and Cognitive Motivational Messages on Math Anxiety, Learning, and Motivation, *Florida State University Tallahassee, FL, USA*, 2009
- [44] Atkinson, RK.: Optimizing Learning From Examples Using Animated Pedagogical Agents, *Journal of Educational Psychology* 94(2), 416-427, 2002
- [45] 独立行政法人国民生活センター：好きになったら騙される！？デート商法を恋愛ゲームで体験！－キミならどうやって切り抜ける？－(発表情報)_国民生活センター,
http://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20190307_1.html (参照日 2019 年 10 月 8 日)
- [46] 小森政嗣, 他：高速再生されたスピーチの理解を向上するためのポーズ長操作, *人間工学* 42(2) 64-69, 2006
- [47] 杉藤美代子:日本人の声:日本語音声の研究, 大阪, 和泉書院, 1994

- [48] Swerts, M.: Prosodic features at discourse boundaries of different strength, *The Journal of the Acoustical Society of America* 101(1), 514-21, 1997
- [49] Getty, DJ.: Discrimination of short temporal intervals: A comparison of two models, *Perception & Psychophysics* 18(1), 1-8, 1975
- [50] 横井聖宏, 他: 発話中の「間」がプレゼンテーションに対する聴衆の支持に与える影響: 一書評ゲーム『ビブリオバトル』の発表音声録音データ分析による考察一, *日本感性工学会論文誌* 15(3), 363-368, 2016
- [51] Seidler, RD.: Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(5), 721-733, 2010
- [52] 文部科学省: 生涯にわたる心身の健康の保持増進のための今後の健康に関する教育及びスポーツの振興の在り方について, 保健体育審議会答申, 1997
- [53] Anguera, JA., Boccanfuso, J., et al.: Video game training enhances cognitive control in older adults (NeuroRacer), *Nature*, 501, 97-101, 2013
- [54] メディカ出版: リハビリウム起立くん, <http://www2.medica.co.jp/topcontents/kirithu/> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [55] パナソニック: デジタルミラー, https://sumai.panasonic.jp/agefree/products/rehabilitation/digital_millor/ (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [56] システム・インスツルメンツ株式会社: 認知症予防「まゆっこ」テ` ーターロカ` ー, <https://www.salon-old.jp/fitness/> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [57] Petocz, P., Reid, A., et al.: Undergraduate Students' Conceptions of Mathematics: An International Study, *International Journal of Science and Mathematics Education* 5(3), 439-459, 2007
- [58] Lyons, IM. and Beilock, SL.: When Math Hurts: Math Anxiety Predicts Pain Network Activation in Anticipation of Doing Math, *PLoS One*. 2012; 7(10): e48076, doi: 10.1371/journal.pone.0048076, 2012
- [59] 黒木哲徳: 大学の数学の授業で起きていること ー日本数学会のある調査よりー, *高等教育ジャーナルー高等教育と生涯学習ー*, 2000
- [60] 一般社団法人 日本数学会 教育委員会: 第一回 大学生数学基本調査報告書, 2013
- [61] Forrester, MA. and Pike, CD.: Learning to Estimate in the Mathematics Classroom: A Conversation-Analytic Approach, *Journal for Research in Mathematics Education* 29(3), 334-356, 1998
- [62] Dubinsky, E. and McDonald, MA.: APOS: A Constructivist Theory of Learning in Undergraduate Mathematics Education Research, *The Teaching and Learning of Mathematics at University Level*, 275-282, 2001

- [63] 文部科学省：全国的な学力調査（全国学力・学習状況調査等），
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/1344324.htm（参照日 2020 年 1 月 5 日）
- [64] 国立教育政策研究所：OECD 生徒の学習到達度調査 Programme for International Student Assessment ～2012 年調査国際結果の要約～, 2013
- [65] 大久保敦, 他：プレースメントテストにおける不正解の意味－大学新入生を対象とした数学・理科に関する学力診断テストの結果に基づいて－, リメディアル教育研究 2(1), 43-48, 2007
- [66] Stoet, G., Bailey, DH. et al.: Countries with Higher Levels of Gender Equality Show Larger National Sex Differences in Mathematics Anxiety and Relatively Lower Parental Mathematics Valuation for Girls, PLoS One. 2016; 11(4): e0153857, doi: 10.1371/journal.pone.0153857, 2016
- [67] Park, D., Ramirez, G. and Beilock, SL.: The Role of Expressive Writing in Math Anxiety, Journal of Experimental Psychology Applied 20(2), 103-111, 2014
- [68] Wang, Z., Lukowski, SL. et al.: Is Math Anxiety Always Bad for Math Learning? The Role of Math Motivation, Psychological Science 26(12), 2015
- [69] Berkowitz, T., Schaeffer, MW. et al.: Math at home adds up to achievement in school, Science 350(6257), 196-198, 2015
- [70] Chloro：あかほん！ 勉強ともっと仲良くなれる学習支援アプリ,
<http://akahone.chloro.space>（参照日 2020 年 1 月 5 日）
- [71] ふぁみべえ (famibee): AIRNovel, <http://famibee.web.fc2.com/intro/home.htm>（参照日 2020 年 1 月 5 日）
- [72] Unity Technologies：Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Visualizations, <https://unity.com>（参照日 2020 年 1 月 5 日）
- [73] マッドネスラボ：Unity 用ビジュアルノベルツール「宴」, <https://madnesslabo.net/utage/>（参照日 2020 年 1 月 5 日）
- [74] 坂入洋右, 他：心理的覚醒度・快適度を測定する二次元気分尺度の開発, 筑波大学体育科学系紀要 26, 27-36, 2003
- [75] 横山和仁：POMS 短縮版手引きと事例解説, 金子 書房, 2005
- [76] 京都大学情報学研究科－日本電信電話株式会社コミュニケーション科学基礎研究所 共同研究ユニットプロジェクト: MeCab: Yet Another Part-of-Speech and Morphological Analyzer, <http://taku910.github.io/mecab/>
- [77] SAS Institute Inc.: 統計解析ソフトウェア－データ分析- 統計解析－シックスシグマ－実験計画 | JMP, https://www.jmp.com/ja_jp/home.html（参照日 2020 年 1 月 5 日）
- [78] 杉邑洋樹, 他：視線を利用したユーザインタフェースに対するユーザの慣れの定量化, 情報処理学会研究報告, 150(9), 2012

- [79] Spanjers, IAE., van Gog, T., et al.: Explaining the segmentation effect in learning from animations: The role of pausing and temporal cueing, Computers & Education Volume 59(2), 274-280, 2012
- [80] Price, BL., Morse, BS. and Cohen, S., LIVEcut: Learning-based interactive video segmentation by evaluation of multiple propagated cues, Proceedings IEEE International Conference on Computer Vision, 2009
- [81] 有限会社ふりーむ：ふりーむ！ - フリーゲーム/無料ゲーム 10000 本！, <https://www.freem.ne.jp> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [82] Apple Inc. : App Store - Apple (日本) , <https://www.apple.com/jp/ios/app-store/> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [83] Google LLC : Google Play の Android アプリ, <https://play.google.com/store/apps> (参照日 2020 年 1 月 5 日)
- [84] CESA/Nikkei Business Publications, Inc.: TOKYO GAME SHOW 2019 - 東京ゲームショウ 2019, <https://expo.nikkeibp.co.jp/tgs/2019/> (参照日 2020 年 1 月 5 日)